

AURÉLIO VINICIUS BORSATO

**SECAGEM DA CAMOMILA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS
E VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR**

CURITIBA

2003

AURÉLIO VINICIUS BORSATO

**SECAGEM DA CAMOMILA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS
E VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Doni Filho
Co-orientador: Dr. Dirk Claudio Ahrens

CURITIBA

2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO, apresentada pelo candidato AURELIO VINICIUS BORSATO, sob o título "SECAGEM DA CAMOMILA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR", para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação.

Curitiba, 17 de Fevereiro de 2003.

Professor Dr. Evandro de Castro Melo
Primeiro Examinador

Professor Dr. Francisco Amaral Villela
Segundo Examinador

Dr. Dirk Claudio Ahrens
Terceiro Examinador

Professor Dr. Edilberto Possamai
Quarto Examinador

Professor Dr. Luiz Doni Filho
Presidente da Banca e Orientador

Dedico

*Aos produtores de camomila,
Profissionais, instituições afins,
Consumidores e usuários dela e
de seus derivados.*

“O jovem é intrinsecamente motivado, em alto grau. O lado triste da maior parte da educação está em que, após a criança haver passado anos e anos na escola, essa motivação intrínseca está muito bem amortecida. Mas continua a existir, e nossa tarefa, como facilitadores de aprendizagem, é a de suscitar essa motivação, descobrir que desafios são reais para o jovem e proporcionar-lhe a oportunidade de enfrentá-los”. (Rogers, 1972).

“...não se pode formar personalidades autônomas no domínio moral se por outro lado o indivíduo é submetido a um constrangimento intelectual de tal ordem que tenha de se limitar a aprender por imposição sem descobrir por si mesmo a verdade: se é passivo intelectualmente, não conseguiria ser livre moralmente”. (Piaget, 1973).

“A neutralidade da educação é impossível, como impossível é, por exemplo, a neutralidade na ciência. Isso quer dizer que não importa se como educadores somos ou não conscientes, a nossa atividade desenvolve-se ou para a libertação dos homens ou para a sua domesticação. Se a minha escolha é a da libertação, a da humanização, é-me absolutamente necessário ser esclarecido de seus métodos, técnicas e processos que tenho de usar quando estou diante dos educandos. Isto passa-se deste modo precisamente porque estamos impregnados de mitos que nos tornam incapazes de desenvolver um tipo de ação a favor da liberdade, da libertação”. (Freire, 1975).

“...percorrer um pedaço do caminho não é o mesmo que tomar o caminho errado...”. (Jostein Gaarder, 1995).

AGRADECIMENTOS

Ao comitê de orientação, Dr. Luiz Doni Filho, professor da UFPR, e Dr. Dirk Claudio Ahrens, pesquisador do IAPAR, pelo voto de confiança, suporte técnico, amizade, dedicação e apoio em reflexões pessoais.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, bem como aos demais vinculados ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela oportunidade de compartilhar experiências durante o processo de ensino-aprendizagem, o que contribuiu para que me tornasse um ser pensante.

À CAPES, e pela concessão da bolsa por dois anos consecutivos enquanto aluno regular. Também, ao Programa Paraná Doze Meses, pelo custeio de parte do trabalho enquanto aluno especial.

Ao colega Marcos Antônio Dalla Costa, por facilitar o contato junto aos produtores de camomila em Mandirituba-PR. Em especial ao agricultor Sr. Arildo Oliveira Franco, que gentilmente forneceu toda a matéria-prima. Obrigado.

À Patrícia Martinelli e aos familiares pela paciência, compreensão, apoio e, principalmente, pelo companheirismo.

Ao pessoal do Setor Agrárias da UFPR, em especial à Lucimara Antunes, Maria de Lurdes da Silva Wos, Maria Emilia Kudla e Roseli Biora, pelo apoio, hospitalidade e amizade.

À Mariana Sacchelli pela ajuda psicológica, tornando-me cada vez mais seguro e autônomo nos momentos decisivos do cotidiano.

Aos colegas alunos da pós-graduação que compartilharam derrotas e vitórias. Enfim, àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

AURÉLIO VINICIUS BORSATO, filho de Candido Cesar Borsato e Tânia Mara Spinardi Borsato, nasceu em Ponta Grossa, Estado do Paraná, aos 28 de outubro de 1977.

A atividade agropecuária como base econômica da minha família fez com que eu buscasse no curso de Técnico em Agropecuária (2º Grau) um aprendizado onde haveria de encontrar as soluções para os problemas vividos em nossa propriedade. Neste período, entre 1992 a 1994, comecei a perceber que as dificuldades da nossa realidade eram comuns entre os agropecuaristas não detentores de tecnologias há muito tempo geradas.

Ao constatar que eu estava habilitado apenas para executar práticas agrícolas reproduzindo conhecimentos gerados pela pesquisa, em 1995 iniciei o curso de Agronomia na Universidade Estadual de Ponta Grossa. O sonho de uma profissão digna e estar habilitado para inovar e encontrar soluções para os problemas encontrados na agricultura fez com que me apaixonasse pela pesquisa. Na graduação optei pela área de produção e tecnologia de sementes com apenas dois anos cursados. Com a ajuda de alguns professores consegui estágio voluntário no IAPAR, desenvolvendo durante 2,5 anos trabalhos de iniciação científica na área de Produção Vegetal com ênfase em produção e tecnologia de sementes, apoiado pelo Programa Interno de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq). Como estágio curricular continuei desenvolvendo atividades de pesquisa em produção e tecnologia de sementes de cereais de inverno na Embrapa.

Em 1999, logo após a conclusão da graduação, objetivando o aprofundamento em conhecimentos técnicos adquiridos nas atividades acadêmicas e, principalmente, a capacitação para um pesquisador, desenvolvendo e exercitando a consciência crítica, candidatei-me a Mestre no Curso de Pós-graduação, área de concentração Produção Vegetal, da UFPR, com apoio dos profissionais orientadores nos estágios. Porém, pela indisponibilidade de vaga comecei desenvolver, como aluno especial, meu trabalho experimental bem como grande parte dos créditos necessários. Enquanto aluno regular, entre 2001 e 2003, também conquistei bom desenvolvimento pessoal e ampliação de horizontes, facilitando a inter-relação profissional e o amadurecimento sócio-crítico. As disciplinas foram cursadas a fim de obter um conhecimento suficiente para atuar em produção vegetal, sempre articulando com o tema desenvolvido como trabalho de dissertação.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE TABELAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| RESUMO | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 PLANTAS MEDICINAIS E AROMÁTICAS | 3 |
| 2.1.1 Camomila | 6 |
| 2.1.1.1 Interesse comercial | 6 |
| 2.1.1.2 Secagem da camomila | 10 |
| 2.1.2 Secagem de Plantas Medicinais | 12 |
| 2.2 SECAGEM DE SEMENTES | 15 |
| 2.2.1 A Água em Grãos e Sementes | 16 |
| 2.2.2 Métodos de Secagem | 21 |
| 2.2.3 Taxa de secagem | 27 |
| 3 METODOLOGIA | 29 |
| 3.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR | 29 |
| 3.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR | 33 |
| 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL | 34 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR | 35 |
| 4.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR | 46 |
| 5 DISCUSSÃO GERAL | 57 |
| 5.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR | 58 |
| 5.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR | 63 |
| 6 CONCLUSÕES | 71 |
| REFERÊNCIAS | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Médias dos dados obtidos no processo de secagem da camomila sob diferentes temperaturas do ar e vazão específica de $242 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2000 | 36 |
| TABELA 2 - Estimativa do tempo de secagem e do teor de óleo essencial da camomila sob diferentes temperaturas do ar de secagem e vazão específica de $242 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$, até teor de água igual a 10%. Curitiba, PR. 2000 | 45 |
| TABELA 3 - Médias dos dados obtidos no processo de secagem da camomila sob diferentes vazões específicas do ar e temperatura de 80° C . Curitiba, PR. 2001 | 47 |
| TABELA 4 - Estimativa do tempo de secagem e do teor de óleo essencial da camomila sob diferentes vazões específicas do ar de secagem e temperatura de 80° C , até teor de água igual a 10%. Curitiba, PR. 2001 | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| FIGURA 1 | - Protótipo utilizado na secagem estacionária da camomila: a) câmara individual de secagem; b) termostato digital; c) câmara em comum de aquecimento do ar; d) queimadores a gás; e) tubulações cilíndricas; f) ventilador individual e entrada do ar aquecido; g) saída do ar aquecido. Curitiba, PR. 2000 | 30 |
| FIGURA 2 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 35° C. Curitiba, PR. 2000 | 37 |
| FIGURA 3 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 50° C. Curitiba, PR. 2000 | 38 |
| FIGURA 4 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 50° C. Curitiba, PR. 2000 | 39 |
| FIGURA 5 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 50° C. Curitiba, PR. 2000 | 39 |
| FIGURA 6 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 65° C. Curitiba, PR. 2000 | 41 |
| FIGURA 7 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 65° C. Curitiba, PR. 2000 | 41 |
| FIGURA 8 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 80° C. Curitiba, PR. 2000 | 42 |
| FIGURA 9 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 80° C. Curitiba, PR. 2000 | 42 |
| FIGURA 10 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 95° C. Curitiba, PR. 2000 | 43 |
| FIGURA 11 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 95° C. Curitiba, PR. 2000 | 44 |
| FIGURA 12 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 10 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 48 |
| FIGURA 13 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 10 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 49 |
| FIGURA 14 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 60 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 49 |
| FIGURA 15 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 60 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 50 |
| FIGURA 16 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 110 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 51 |
| FIGURA 17 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 110 m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹ . Curitiba, PR. 2001 | 51 |

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 18 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $160 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001 | 52 |
| FIGURA 19 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $160 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001 | 53 |
| FIGURA 20 | - Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001 | 54 |
| FIGURA 21 | - Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001 | 54 |
| FIGURA 22 | - Linhas de tendências relacionando o teor de água e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes temperaturas do ar. Curitiba, PR. 2000 | 60 |
| FIGURA 23 | - Linhas de tendências relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes temperaturas do ar. Curitiba, PR. 2000 | 62 |
| FIGURA 24 | - Linhas de tendências relacionando o teor de água e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes vazões específicas do ar. Curitiba, PR. 2001 | 64 |
| FIGURA 25 | - Linhas de tendências relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes vazões específicas do ar. Curitiba, PR. 2001 | 65 |

RESUMO

A camomila é a planta medicinal mais cultivada no mundo e, no Brasil, a maior produção concentra-se na região de Mandirituba - PR. Sua inflorescência, em forma de capítulo, é rica em óleo essencial usado para fins cosméticos e medicinais. Na colheita, a camomila tem entre 80-90% de água, requerendo uma secagem artificial imediata. Em Mandirituba a secagem é realizada de forma precária, não havendo monitoramento da temperatura e vazão específica do ar utilizado, bem como dos teores de água e de óleo essencial da camomila. Neste sentido, um paradoxo vem sendo observado: embora sejam recomendadas temperaturas entre 35-38° C, torna-se usual temperatura entre 60-110° C devido ao volume de produção e infra-estrutura disponível dos produtores de camomila. Em consequência, há perdas acima de 50% do óleo essencial, pois algumas substâncias voláteis são arrastadas pelo vapor de água durante a remoção da grande quantidade de água dos capítulos florais. Se o arraste de substâncias voláteis pelo vapor de água é influenciado pela temperatura e pela vazão específica do ar, então a utilização destes fatores de maneira adequada possibilitará a remoção da água da camomila e que a perda do teor de óleo essencial seja mínima possível. Assim, a camomila, proveniente da Região de Mandirituba-PR, foi secada num protótipo de secagem estacionária, no Laboratório de Análise e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. Verificou-se a secagem sob as temperaturas do ar (1ª fase) de 35, 50, 65, 80 e 95° C e sob as vazões específicas do ar (2ª fase) de 10, 60, 110, 160 e 210 m³.min⁻¹.t⁻¹, monitorando os teores de água e de óleo essencial. Utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, por meio de regressões polinomiais ($P \leq 0,01$) foram elaboradas curvas de secagem. Dessa forma, conclui-se que na secagem da camomila: a) maiores taxas de secagem são obtidas com o aumento da temperatura e da vazão específica do ar; b) a remoção de água é progressiva ao longo do processo; c) a remoção do teor de óleo essencial é inevitável e o aumento da temperatura do ar antecipa essa perda; d) a taxa de perda do óleo essencial é acentuada no início do processo, seguida de um “platô” e novamente acentuada no final; e) a diminuição do teor de água difere da redução do teor de óleo essencial sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar; f) a diminuição do teor de óleo essencial sob diferentes temperaturas difere desta perda sob diferentes vazões específicas do ar; g) as temperaturas de 35, e 50° C são insuficientes, bem como não impedem a perda de óleo essencial; h) as temperaturas de 80 e 95° C proporcionam maior taxa de secagem, porém a última conferiu cor caramelo (indesejável); i) a faixa de temperatura de 65 a 80°C, deve ser experimentada; j) entre as vazões específicas, maior taxa de secagem foi obtida sob 210 m³.min⁻¹.t⁻¹; k) o teor de óleo essencial é reduzido durante todas as condições estudadas, porém mais atenuada sob 80° C e 210 m³.min⁻¹.t⁻¹.

Palavras-chave: *Chamomilla recutita* (L.) Raeuchert, teor de óleo essencial, teor de água.

ABSTRACT

Chamomile is the most cultivated medicinal plant in the world and, in Brazil, the largest production concentrates on Mandirituba-Parana state. Its inflorescence, in flowerhead form, is rich in essential oil used for cosmetic and medicinal purposes. Because this plant species presents approximately 80-90% of water, it requires an immediate artificial drying after harvesting. In Mandirituba, although the drying is accomplished with temperature and airflow control, there are no studies showing correlation between these parameters with water and essential oil content. Although the technical recommendation of temperature range for chamomile drying oscillates between 35-38° C, the farmers usually carry it out at temperatures between 60-110° C due to the production volume and available infrastructure. Consequently, losses over 50% of the essential oil content have been observed as a result of the dragging of volatile substances by the vapor of water during the process of removal of the great amount of water from the flowerheads. If the losses volatile substances are influenced by the temperature and airflow, then the use of these factors properly will make possible the removal of the water of the chamomile minimizing the loss of the essential oil content. In this research, two experiments were carried out to investigate the effect of the drying process on plant tissue moisture and total essential oil concentration. In the first experiment, we investigated the correlation of five different temperatures (35, 50, 65, 80 and 95° C) with these characteristics and, in the second one, five different airflows (10, 60, 110, 160 and 210 m³.min⁻¹.t⁻¹). Both experiments used a randomized design with four repetitions, and polynomials regressions ($P \leq 0,01$) drying curves were obtained. Like this, the chamomile, originating from the Mandirituba, it was dried in a prototype of static drying, in the Laboratory of Analysis and Technology of Seeds of the Federal University of Parana, Curitiba-Parana state. As main conclusions of this studies, we observed that: a) higher drying rates are obtained with the increase of the temperature and airflow; b) the removal of water is progressive with the process; c) the loss of essential oil was verified in all drying treatments and it is higher with the increase of temperature; d) the rate of loss of the essential oil is great in the beginning of the process, followed by a "plateau" and again becoming greater the end; e) the decrease of the water content differs of the reduction of the essential oil content under different temperatures and airflow; f) the decrease of the essential oil content under different temperatures differs of this loss under different airflow; g) the temperatures of 35, and 50° C are insufficient, in addition, it do not avoid the loss of essential oil; h) the temperatures of 80 and 95° C provide larger drying rate, however the last resulted in caramel color (undesirable); i) the temperature range between 65 to 80° C, should be tested; j) larger drying rate was obtained under 210 m³.min⁻¹.t⁻¹ airflow; k) the essential oil content was reduced during all airflow conditions, although at lower degree under 80° C and 210 m³.min⁻¹.t⁻¹.

Key Words: *Chamomilla recutita* (L.) Raeuchert, essential oil content, water content.

1 INTRODUÇÃO

A camomila (*Chamomilla recutita* L. Raeuchert.) destaca-se como a planta medicinal mais cultivada no mundo. Há mais de um século, imigrantes europeus trouxeram para o Brasil o hábito de consumo desta planta, bem como as primeiras sementes e técnicas de cultivo. Há 51 anos, seu cultivo comercial foi iniciado na região de Mandirituba – PR e desde a instalação da “Trinacria”, uma empresa paulista, a comercialização da camomila foi monopolizada e o desenvolvimento de tecnologias não foi expressivo, durante o período em que atuou. Depois que outras empresas começaram a participar junto ao processo produtivo, principalmente com a instalação de secadores, importantes avanços foram conseguidos, conferindo a esta região a maior produção de camomila, o que lhe permitiu, há cinco anos, a auto-intitulação de capital nacional da camomila.

O cultivo da camomila, como opção de inverno, passou a ter participação importante como fonte de renda dos agricultores desta região, juntamente com as espécies tradicionais cultivadas no verão. Desde então, a secagem artificial tornou-se uma operação fundamental no processo produtivo destas espécies. Dentre os secadores utilizados, o modelo estacionário, do tipo “bandejão”, da Universidade Federal de Viçosa, foi o que atendeu aos anseios daquela época, em função, principalmente, de sua multiplicidade de uso e menor investimento, uma vez que a maioria dos agricultores é de baixa renda e utiliza mão-de-obra familiar.

Sendo a colheita da camomila realizada com teor de água entre 80-90%, requer uma secagem artificial imediata de modo a garantir sua conservação. Assistidos pela Emater-PR (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná) os agricultores foram instruídos a secar a camomila a temperaturas que variam entre 35-38° C, por se tratar de uma espécie cujo interesse comercial está em sua inflorescência, em forma de capítulo, que é rico em óleo essencial usado para fins medicinais e de cosméticos. Entretanto, o valor comercial da camomila jamais foi remunerado pela quantidade de óleo essencial, o que levou os agricultores a ignorar a complexidade do processo de secagem, ocasionando, via de regra, perdas de substâncias voláteis arrastadas pelo vapor de água durante a remoção da grande quantidade de água dos capítulos florais. Soma-se a isso a utilização de modelos de secadores rústicos, originalmente usados para a secagem de grãos e sementes de espécies não medicinais.

Neste sentido, um paradoxo vem sendo observado em relação à utilização de temperaturas do ar de secagem. O empirismo, por parte dos agricultores, permitiu a constatação de que as recomendações eram impraticáveis, devido ao volume de produção e a infra-estrutura disponível da maioria dos produtores de camomila, tornando-se usual temperaturas entre 60-110° C, não havendo o monitoramento adequado da temperatura e da vazão específica do ar utilizado e menos ainda dos teores de água e de óleo essencial da camomila. Em consequência, perdas quantitativas superiores a 50% do óleo essencial, evidenciam que o processo de secagem da camomila, assim como da maioria das plantas medicinais, ainda está precário, carente de estudos mais específicos, a fim de gerar informações mais consistentes, atuais e adequadas à realidade do processo produtivo.

O estudo da cinética de secagem permite conhecer o comportamento das variáveis dependentes envolvidas ao longo do processo. Assim, é possível analisar e expressar os resultados de maneira a facilitar a visualização e compreensão do movimento desempenhado pelos teores de água e de óleo essencial da camomila, submetida aos fatores de secagem, neste caso a temperatura e vazão específica do ar.

Se o arraste de substâncias voláteis pelo vapor de água é influenciado pela temperatura e pela vazão específica do ar, então a utilização destes fatores de maneira adequada fará com que o teor de água da camomila seja reduzido em níveis satisfatórios ao armazenamento e que a perda do teor de óleo essencial seja nula ou a mínima possível.

Desta forma, este estudo teve como objetivo geral verificar o processo de secagem estacionária da camomila sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar, monitorando os teores de água e de óleo essencial, de modo a identificar melhores condições de secagem que assegurem a qualidade da matéria-prima.

Como objetivos específicos: determinar a perda de água e de óleo essencial da camomila, bem como a taxa em que elas ocorrem, nas diferentes temperaturas e vazões específicas do ar, ao longo do processo de secagem; estabelecer as temperaturas e vazões específicas do ar de secagem mais adequadas quanto ao teor de água e teor de óleo essencial; construir curvas de secagem para as diferentes temperaturas e vazões específicas do ar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANTAS MEDICINAIS E AROMÁTICAS

Desde os primórdios da civilização, a preocupação da espécie humana com a manutenção da sua integridade física e fisiológica desencadeou a demanda pela utilização de recursos naturais, observando de forma constante e sistemática os fenômenos e características da natureza e pela conseqüente experimentação empírica desses recursos. Dessa forma, foram descobertas potencialidades de uso de algumas espécies para amenizar seus problemas, seja como medicamento, seja como alimento ou produção de utensílios em geral (Harlan, 1975; Bragança, 1996; Stasi, 1996; Miguel e Miguel, 1999).

As informações sobre os usos das plantas medicinais e suas virtudes terapêuticas, acumuladas durante séculos, representando, muitas vezes, o único recurso terapêutico de muitas comunidades e grupos étnicos, foram relegadas ao segundo plano com o advento e desenvolvimento da química a partir do século XIX (Neves, 1982).

Consideradas as plantas medicinais novamente como recursos terapêuticos viáveis, a flora nacional brasileira tornou-se objeto de estudos com propósito terapêutico, atendendo à recomendação da Organização Mundial da Saúde aos países membros (Farnsworth *et al.*, 1985), que desde 1978 incentiva os investimentos em plantas medicinais devido aos altos preços dos produtos sintéticos.

Produto fitoterápico é todo medicamento tecnicamente obtido e elaborado, empregando-se exclusivamente matérias-primas ativas vegetais com finalidade profilática, curativa ou para fins de diagnósticos, com benefício para o usuário. É caracterizado pelo conhecimento da eficácia e dos riscos de seu uso, assim como pela reprodutibilidade e constância de sua qualidade: é o produto final acabado, embalado e rotulado. Na sua preparação, podem ser utilizados adjuvantes farmacêuticos permitidos pela legislação vigente. Não podem estar incluídas substâncias ativas de outras origens, não sendo considerado produto fitoterápico quaisquer substâncias ativas, ainda que de origem vegetal isolada ou mesmo suas misturas (Brasil, 1995).

O mercado global de medicamentos está estimado hoje em US\$ 280 bilhões, dos quais cerca de US\$ 14 bilhões (cerca de 5% do global) referem-se a medicamentos fitoterápicos. Somente a Alemanha é responsável por 50% do mercado europeu e mais de

20% do mercado mundial de fitoterápicos. O mercado de fitoterápicos cresce na faixa de 6,5% ao ano apenas no ramo OTC¹. Outras estimativas apontam crescimentos diferenciados de acordo com o país. Na Espanha, a taxa de crescimento é da ordem de 35%; na Alemanha, 15%; na Itália, 11%; e no Reino Unido, 10%. O mercado norte-americano de fitoterápicos é novo e deve crescer bem mais (Ferreira, 1998 e Silva *et al.*, 2002).

No Brasil, esse mercado começou a se expandir recentemente, não havendo ainda um fitoterápico totalmente desenvolvido no país. O interesse pelos produtos naturais tem origem em fatores antropológicos, biológicos, farmacológicos, biotecnológicos e químicos, que produziram uma mudança na estratégia das empresas, que passaram visar ao mercado dos produtos originados de plantas. Estudos realizados por Barata e Queiroz², citados por Silva *et al.* (2002), revelam que das 55 mil espécies de plantas abrigadas pelo Brasil, 10 mil podem ser medicinais, aromáticas e úteis. Conforme estes autores, a literatura especializada tem mostrado que esta guinada em direção aos produtos naturais se inspira em grande medida nas florestas tropicais do Brasil, China e Índia. Esses países são considerados verdadeiros mananciais de moléculas bio-ativas.

A flora brasileira é riquíssima em espécies com princípios ativos prontos, esperando apenas serem testados, a custos menores. A flora equatorial, atlântica e o cerrado constituem-se autênticos celeiros de espécies medicinais, porém mesmo na vegetação de restinga, bosques, sub-bosques, campos nativos e áreas ruderais, são encontradas inúmeras espécies descritas com propriedades terapêuticas.

O potencial da flora brasileira também é comprovado por Silva *et al.* (2002), afirmando que o Brasil dispõe de mais de 25 mil espécies nativas. Isso somente na Amazônia, fora o Pantanal, o cerrado e a caatinga; cada região com sua flora característica representa enorme potencial de investigação científica. Instituições de pesquisa e laboratórios transnacionais começam a perceber o potencial da fitoterapia e não somente para populações menos favorecidas.

A produção sistemática de plantas medicinais reduz ou elimina os riscos de agressão ao meio ambiente, contribui com a saúde e a economia do consumidor e constitui-se em alternativa rentável àqueles produtores que optarem por esta atividade. A domesticação de espécies silvestres é um compromisso com a preservação da biodiversidade regional, com a saúde do ser humano e com a estabilidade do produtor rural no campo (Ocampo, 1994).

¹ OTC = *over the counter* = depois do balcão.

² BARATA, Lauro E. S.; QUEIROZ, Sérgio R. R. *Contribuição Efetiva ou Potencial do PADCT para o Aproveitamento Econômico Sustentável da Biodiversidade*, estudo elaborado para o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), Sub-Programa de Planejamento e Gestão em Ciência e Tecnologia (PGCT), do Ministério da Ciência e Tecnologia. Campinas, outubro de 1995.

Desde 1995, os fitoterápicos são considerados medicamentos e regulamentados pela Agência de Vigilância Sanitária (Anvisa), sendo os critérios baseados na busca pela eficiência farmacêutica. Mesmo não havendo estatísticas oficiais, estima-se que o faturamento nacional com fitoterápicos já esteja em US\$ 500 milhões (Gonçalves, 1997).

Dados do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Silva *et al.*, 2002), apontam que o volume de plantas medicinais exportadas triplicou nos anos de 1993 a 1995, refletindo que embora tenha tecnologia para fazer esta operação internamente, grande parte da flora brasileira está sendo processada no exterior.

Em contrapartida, o Brasil tem importado mais de 1.500 t.ano⁻¹ de folhas secas de sálvia, arnica, ginkgo, babosa, arruda, erva-doce, alcaçúz, artemísia, sabugueiro, alfazema, estragão e até cabelo de milho (estigmas), que são usados como diuréticos. Entre as mais importadas destacam-se a camomila (50 t.ano⁻¹) e o alecrim (40 t.ano⁻¹) (Folha do Meio Ambiente, 1991). Plantas estas consideradas drogas, cuja monografia encontra-se na Farmacopéia Brasileira (1996).

A busca de qualidade é fundamental para o êxito técnico e mercadológico na área de plantas medicinais. Os países desenvolvidos utilizam cultivares ou híbridos uniformes e vigorosos, com tecnologias e equipamentos de cultivo e pós-colheita criados ou adaptados especificamente para cada espécie medicinal ou aromática.

No Brasil, a situação é incipiente e preocupante. Grande parte das sementes comercializada é de péssima qualidade genética. Também, as flores de algumas espécies comercializadas apresentam-se em tonalidades pouco atrativas. A variação de concentração das substâncias ativas, contaminação microbiológica, identificação inadequada, a má qualidade dos produtos colhidos e o seu inadequado acondicionamento, muitas vezes em locais impróprios, têm sido os principais obstáculos à exportação de espécies brasileiras. (Folha do Meio Ambiente, 1991).

O Paraná destaca-se como o maior coletor de carqueja e espinheira-santa do Brasil. Somente na região metropolitana de Curitiba, o consumo de plantas medicinais abrange cerca de 70% da população, que utiliza aproximadamente 60 espécies, entre cultivadas e espontâneas (Corrêa Junior *et al.*, 1991 e Barros *et al.*, 1993). No município de Mandirituba, próximo a Curitiba, 90 produtores dedicam-se à produção de camomila, perfazendo uma área de 200 ha de cultivo, a maior do país (Costa, 2001).

2.1.1 Camomila

A camomila (*Matricaria chamomilla* L.), planta da família das Asteraceae (Compositae), teve sua nomenclatura botânica modificada para *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert (Corrêa Junior, 1994). Conforme relato deste autor, trata-se de uma espécie cuja utilização data da antiguidade sendo mencionada nos trabalhos renascentistas, além de ser conhecida pelos romanos a partir do século XVI. A espécie foi levada ao México em épocas de conquistas e rapidamente foi expandida por todo o continente. Atualmente, está dispersa em todos os continentes onde seus constituintes têm sido amplamente utilizados com propósito terapêutico e cosmético o que lhe confere o título de planta medicinal mais cultivada no mundo.

A camomila, originada na Europa, foi trazida para o Brasil há mais de 100 anos por imigrantes e atualmente destaca-se como a planta medicinal mais cultivada, sendo o Estado do Paraná o pioneiro neste cultivo e detentor da maior produção nacional. No Município de Mandirituba, na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), há aproximadamente 40 anos iniciou-se o cultivo comercial da camomila, abastecendo alguns Municípios e Estados vizinhos (Corrêa Junior, 1994). Atualmente, 90 produtores dedicam-se à produção de camomila, perfazendo uma área de 200 ha de cultivo, a maior do país (Costa, 2001). Mandirituba traz consigo a auto-intitulação de capital nacional da camomila desde os últimos cinco anos, onde seu cultivo destaca-se como um fator principal de desenvolvimento sócio-econômico no meio rural.

Por outro lado, a produção nacional de camomila não supre a demanda interna fazendo com que seja uma das plantas medicinais mais importadas por alguns laboratórios que operam no Brasil, seja em função da exígua e/ou irregular oferta e/ou ainda da qualidade insuficiente da matéria-prima.

2.1.1.1 Interesse comercial

A parte da camomila de maior interesse comercial é sua inflorescência, em forma de capítulo, que é rico em óleo essencial usado para fins de cosméticos e medicinal. Maiores detalhes em relação à descrição macroscópica e microscópica das inflorescências da camomila estão relatados na Farmacopéia Brasileira (1996).

O emprego terapêutico de plantas exige o conhecimento referente a grupos químicos para avaliação das potencialidades terapêuticas, tóxicas e para a elaboração de uma estratégia adequada para seu uso e combinação. Dentre eles destaca-se o grupo dos óleos

essenciais ou voláteis, cujos compostos apresentam-se em geral com estrutura cíclica, chamados de terpenos, e seus derivados, um álcool, um aldeído ou uma cetona. São voláteis devido ao seu baixo peso molecular o que confere odores às plantas e flores. (Simões e Spitzer, 1999).

Conforme os mesmos autores, os óleos essenciais são encontrados sob a forma de misturas complexas com muitos constituintes. Em geral, há o predomínio de alguns compostos, responsáveis por caracterizar cada óleo essencial. São comuns no Reino Vegetal, principalmente nas famílias *Labiatae*, *Rubiaceae*, *Rosaceae*, *Lauraceae*, *Umbelliferae* e *Compositae*.

Algumas ações farmacológicas são clássicas para os óleos essenciais, tais como anestésica (mono e sesquiterpenos), analgésica (sesquiterpenos), anti-helmíntica (mono e sesquiterpenos), antiinflamatória (mono e sesquiterpenos), expectorante (monoterpenos) e sedativa (mono e sesquiterpenos). Porém, alguns óleos essenciais possuem ações farmacológicas bastante específicas, como por exemplo, o camazuleno da camomila que é anti-inflamatório (Simões e Spitzer, 1999).

Os óleos voláteis apresentam ampla distribuição em vegetais superiores. Estimativas sugerem a sua ocorrência em 30% das espécies investigadas (Teuscher³, citado por Simões e Spitzer, 1999). Da mesma forma, estão presentes em muitas drogas vegetais, contribuindo para as suas características organolépticas e, principalmente, para as propriedades terapêuticas como, por exemplo, a camomila.

As substâncias químicas que constituem o óleo essencial da camomila estão localizadas nos canais secretores e tricomas glandulares individuais que compõem sua inflorescência e o receptáculo, em forma de capítulo, o qual é a parte da planta de maior interesse comercial (Simões e Spitzer, 1999).

Conforme a descrição microscópica da Farmacopéia Brasileira (1996) o óleo essencial da camomila está armazenado principalmente numa estrutura denominada vesícula, formada nos tricomas glandulares bisseriados, cuja estrutura é constituída por 1 pé de 2 células e a cabeça por 2 a 4 células por série, com cutícula bem expandida. Estes tricomas glandulares ocorrem esparsamente na epiderme da lígula, entre as nervuras e no tubo da corola, particularmente numerosos na débil constrição que corresponde a abertura da lígula. Também, ocorrem em grande número nas células da margem da corola da flor tubulosa, as quais são longitudinalmente alongadas e de paredes muito finas. Fileiras longitudinais destes tricomas também estão presentes nos ovários dos dois tipos de flores. E ainda, sua presença também é relatada na superfície dos aquênios.

³ TEUSCHER, E. *Pharmazeutische Biologie*. Braunschweig: Vieweg, 1990.

Portanto, o óleo essencial está localizado sobretudo nas estruturas florais, em tricomas glandulares periféricos e em canais secretores na porção interna das estruturas florais. Estas estruturas internas são constituídas de paredes mais espessas e resistentes, o que pode dificultar seu rompimento e, em consequência, a perda de algumas substâncias que constituem o óleo essencial da camomila.

Nesta espécie, foram identificados mais de 120 constituintes químicos como metabólitos secundários, sendo 28 terpenóides, 36 flavonóides e 52 outros compostos com potencialidade farmacológica (Salamón, 1992; Alonso, 1998). Destacam-se o bisabolol e o camazuleno como as substâncias que apresentam propriedades mais bio-ativas. Esses componentes conferem à camomila algumas propriedades terapêuticas: antiespasmódicas, antiflogística, sedativa, antialérgica, vermífuga e emenagoga (Bustamante, 1987). Este autor complementa que a camomila também se destina à indústria de licores e de cosméticos.

O mínimo teor de óleo essencial da camomila para constituir uma droga vegetal é de 0,4% (Farmacopéia Brasileira, 1996). Grande variação deste teor e, algumas vezes, em sua composição, é comprovada por estudos agrônômicos, que visam à produção abundante e homogênea de matéria-prima, preservando a espécie e a biodiversidade. Os principais aspectos a serem investigados visam à otimização da produção de biomassa e de constituintes ativos, através de estudos edafo-climáticos, de micropropagação, inter-relações ecológicas, densidade de plantio, necessidades nutricionais, ocorrência de pragas, operações de pós-colheita, bem como de melhoramento genético da espécie (Ikuta, 1993).

Geralmente, as espécies contêm maior teor de óleo em função das condições de produção, épocas de colheita e operações de pós-colheita (Martins *et al.*, 1995). Neste sentido, para executar adequadas práticas agrícolas, primeiramente, deve-se estimular a realização de estudos agrônômicos como os que foram desenvolvidos por Corrêa Junior (1994) e Costa (2001) que além de uma ampla abordagem sobre a camomila de Mandirituba, listaram alguns pontos de estrangulamento do seu processo produtivo para a obtenção de uma matéria-prima de qualidade, onde grande destaque foi dado para a secagem, uma vez que este processo está sendo feito sem um monitoramento adequado, possivelmente pela inexistência de estudos especializados sobre este assunto.

A composição do óleo volátil de uma planta é determinada geneticamente, sendo geralmente específica para um determinado órgão e característica para o seu estágio de desenvolvimento, mas as condições ambientais são capazes de causar variações significativas. Alguns aspectos determinantes da variabilidade são quimiotipos ou raças químicas, ciclo vegetativo, fatores extrínsecos e processo de obtenção (Simões e Spitzer, 1999).

Os métodos de extração empregados no passado eram bem simplificados e os produtos obtidos a partir destes nem sempre eram óleos 100% puros. A tecnologia atual permite extrair óleos essenciais tão puros e concentrados que o aroma dos óleos retirados pelos antigos métodos parecem perfumes de segunda linha. É o caso da extração por CO₂ que permite obter-se um produto final de extrema pureza e qualidade (Simões e Spitzer, 1999).

Os mesmos autores afirmam que conforme o método empregado para extração de um óleo essencial, suas características químicas poderão ser totalmente alteradas, modificando juntamente seus efeitos terapêuticos. Exemplos seriam da sálvia esclaréia e o teor de esclareol no óleo extraído a baixas ou altas temperaturas ou ainda do óleo de bergamota que perde bergapteno (furanocumarina que causa manchas de pele) se destilado e não extraído por prensagem a frio das cascas. Métodos mais rápidos de extração podem ser o fator de um produto sair muito mais barato, mas conforme o óleo, isso poderá alterar drasticamente suas qualidades terapêuticas para um tratamento. O calor e a pressão usados no ato da extração podem, por exemplo, interferir na qualidade final do óleo essencial, pois no momento da extração as sensíveis moléculas de um precioso princípio ativo podem ser quebradas e oxidadas em produtos de menor eficácia ou, às vezes, até tóxico.

Em sua maioria, os óleos essenciais são obtidos por destilação a vapor ou hidrodestilação. Neste método, eles são volatilizados quando a matéria-prima é submetida a uma corrente de vapor e a mistura dos vapores de óleo e água, ao condensar, separam-se em camadas, pela diferença de densidade (Povh, 2000).

Esta autora relata que na hidrodestilação ou método de destilação com água, o material a ser destilado permanece diretamente em contato com a água em ebulição. Um segundo método pode ser empregado colocando a matéria-prima sobre uma placa perfurada, a uma certa distância do fundo do extrator, de modo a evitar o contato direto com a água em ebulição. Finalmente, o terceiro método consiste em introduzir vapor de água, gerado a partir de caldeiras ou autoclaves, em uma câmara de expansão do extrator, antes de passar pela placa perfurada, onde é colocada a matéria-prima.

Este é o método de destilação mais antigo, mais versátil, comercialmente mais usado no Brasil e, normalmente, empregado como um processo artesanal por não necessitar de elevados investimentos. Porém, alguns efeitos negativos à qualidade do óleo essencial são: hidrodifusão, hidrólise e decomposição pelo calor (Povh, 2000).

A principal determinação quantitativa é o doseamento do óleo volátil, extraído por arraste de vapor d'água, em aparelho do tipo Clevenger modificado, como preconizado pela Farmacopéia Brasileira (1996). Os óleos voláteis também podem ser avaliados através de

outros ensaios: miscibilidade com o etanol, índice de refração, poder rotatório, densidade, determinação dos índices de acidez, de ésteres, de carbonilas, além de análises cromatográficas.

Portanto, vários métodos podem ser usados para avaliar a qualidade, não somente da matéria-prima como também dos óleos voláteis propriamente ditos. São classificados em organolépticos, físicos, químicos ou físico-químicos, cuja escolha depende do tipo e quantidade de amostra, do rigor analítico requerido e da infra-estrutura laboratorial disponível. A composição química dos óleos voláteis é muito complexa; por conseguinte, existe uma grande variedade de métodos diferentes para cada óleo volátil (Povh, 2000).

2.1.1.2 Secagem da camomila

O processo de secagem é fundamental porque tem a finalidade de evitar a proliferação de microrganismos (fungos, bactérias e leveduras) e reduzir a ação enzimática, favorecendo a conservação das propriedades originais das plantas. Este processo torna-se mais complexo no caso de espécies produtoras de óleo essencial o qual é constituído por substâncias voláteis.

Na colheita, a camomila normalmente apresenta teor de água variando entre 80 a 90%, que são muito superiores ao ideal para seu armazenamento, necessitando uma secagem imediata até níveis inferiores a 10%, embora isso ainda não esteja cientificamente estabelecido. Neste sentido, a secagem natural não é eficaz na redução deste teor de água, tornando necessária a utilização de ar aquecido forçado (Corrêa Junior, 1994 e Costa, 2001).

Conforme estes autores, para a camomila, assim como para outras espécies com substâncias voláteis ou que são arrastadas pelo vapor de água, o processo de secagem torna-se bastante complexo, ocasionando, via de regra, grandes perdas ao remover grande quantidade de água dos capítulos florais. Soma-se a isso a utilização normalmente de modelos de secadores rudimentares, originalmente usados para a secagem de grãos e sementes de espécies não medicinais, onde o monitoramento das condições de secagem – temperatura, teor de água e vazão específica do ar – não ocorre de maneira rigorosa. Neste caso, poderá ocasionar o arraste ou a volatilização do óleo essencial, comprometendo suas propriedades medicinais e de cosméticos. Além disso, o eventual desconhecimento de adequadas práticas sanitárias pode comprometer a qualidade da matéria-prima e, conseqüentemente, a qualidade, segurança e eficácia do produto final.

Em geral, antes de levar os capítulos florais até o secador, os mesmos passam por um processo de peneiração em malhas cujo diâmetro pode variar entre 7 a 11 mm, objetivando separar os capítulos avulsos dos capítulos com pedúnculos ou partes de outras plantas, para que sejam secados separadamente, o que aumenta a taxa da secagem.

É preconizado que no processo de secagem os capítulos florais sejam distribuídos em camadas finas, evitando seu revolvimento até o final do processo a fim de evitar a sua desintegração. Portanto, os secadores mais utilizados são do tipo estacionário, no qual não há movimentação da massa a ser secada. Para facilitar o manuseio do material úmido, podem ser utilizadas bandejas com fundo de tela, permitindo intensa passagem do ar quente. A ausência de luz e boa ventilação – embora o autor não especifique – dentro do secador podem favorecer a qualidade do produto final, mantendo o aroma e a coloração original da camomila. Posteriormente à secagem, os capítulos florais podem passar por um processo de classificação ou diretamente embalados e armazenados em ambiente seco e escuro (Corrêa Junior, 1994).

Neste sentido, o processo de secagem da camomila é complexo principalmente por se tratar de uma espécie cujo interesse comercial é seu óleo essencial constituído por substâncias voláteis. No início da década de 90 foram feitas algumas recomendações em relação à temperatura do ar de secagem, preconizando a não utilização de temperaturas superiores a 35° C de modo a evitar a volatilização das substâncias constituintes do seu óleo essencial (Corrêa Junior, 1994). Porém, é desconhecida qualquer fundamentação teórica para estas recomendações.

Uma vez constatado pelos produtores de camomila que tais recomendações comprometiam a eficácia do processo de secagem, o que causou maior preocupação que o teor de óleo essencial, passaram então a adequar-se diante de suas limitações em relação a equipamentos e volume de produção, gerando conhecimentos a partir de suas próprias experiências (Costa, 2001). Embora sejam contrárias àquelas recomendações, estas experiências garantiram a viabilidade do processo produtivo da camomila nesta região, embora o mesmo ainda seja precário.

Diante destas informações generalizadas, insuficientes e, muitas vezes equivocadas, torna-se evidente que o processo de secagem da camomila, assim como da maioria das plantas medicinais, ainda está precário, carente de estudos mais específicos, a fim de gerar informações mais consistentes, atuais e adequadas à realidade do processo produtivo.

Na Argentina são utilizadas temperaturas de secagem estacionária que variam entre 30 a 70° C, sendo considerada como temperatura ideal a de 67° C porque permite a pasteurização da camomila desidratada, evitando a proliferação de microrganismos (Ginieis, 1992; Curioni e Alfonso, 1996).

Entretanto, nota-se que as informações referentes à secagem de camomila bem como de outras espécies medicinais e aromáticas são descritas de maneira generalizada, utilizando termos vagos como, por exemplo: boa, ideal, rápida, calor moderado, entre outros. Em relação à temperatura de secagem, muitas vezes não se tem certeza de que se trata da temperatura do ar ou da massa, propiciando confusões de interpretação. Portanto, é necessário que as informações sejam expressas de maneira detalhada e padronizada, de modo a favorecer a interpretação e a comparação com demais estudos realizados.

Miguel e Miguel (1999) também destacam a necessidade de mobilização para conscientizar e treinar estas pessoas que se dedicam à produção de matéria-prima para fins medicinais como uma fonte alternativa de renda e que, muitas vezes, representa a única fonte de renda familiar. Para tanto, é imprescindível a integração de profissionais das ciências agrárias, biológicas e da saúde tendo como objetivo comum a busca da qualidade em todos os segmentos do processo produtivo em prol da eficácia e segurança terapêuticas, por tratar-se de matéria-prima para a produção de medicamentos.

Entretanto, esta mobilização é limitada, muitas vezes, pela escassez de informações cientificamente comprovadas, principalmente em relação ao processo de secagem, gerando contradições com a realidade vivida pelos produtores. Como por exemplo, as recomendações referentes à temperatura de secagem que na prática torna-se inexequível, fazendo com que os conhecimentos adquiridos empiricamente se tornem usuais, mesmo não sendo adequados do ponto de vista científico. Portanto, o processamento pós-colheita é um dos pontos de estrangulamento não apenas do processo produtivo da camomila, mas da maioria das espécies aromáticas e medicinais.

2.1.2 Secagem de Plantas Medicinais

As espécies aromáticas e/ou medicinais destinadas à produção de folhas, flores ou raízes devem ser secas imediatamente após sua coleta, mantendo as propriedades da planta fresca referentes a sabor, cor, aroma e, principalmente as substâncias ativas peculiares de cada espécie (CCI, 1992).

Embora algumas espécies possam ser secas naturalmente apenas à sombra com eficácia, a secagem artificial destaca-se cada vez mais por manter grande parte das propriedades da planta fresca. A secagem ao ar livre, onde o material pode ser exposto ao sol ou à sombra, é o processo mais antigo utilizado, porém atualmente sua utilização é limitada porque favorece grandes perdas na produção e contaminação pela presença de diversas impurezas inclusive microbiológicas (Saraiva, 1998; Arata, 1998). Porém, poucos

autores como Ratera e Ratera (1980) retificam que a secagem natural é a ideal para as espécies medicinais, evitando a exposição ao sol de flores e frutos.

O processo de secagem, iniciado logo após a colheita da planta, pode consumir reservas e provocar a morte progressiva de suas células. O murchamento provoca a ruptura das organelas celulares, liberando enzimas que podem desencadear processos de hidrólise e oxidação que afetam a eficiência terapêutica das plantas. Estes fenômenos cessam quando o teor de água é de aproximadamente 10% (Garrido, 1988; Muñhoz, 1993). Neste sentido, a secagem objetiva reduzir o teor de água a níveis seguros e em tempo hábil, evitando alterações nas propriedades originais do material, ocasionadas pela proliferação de fungos, leveduras e bactérias (Saraiva e Horn, 1998; Horn *et al.*, 1998).

A necessidade de armazenar as espécies aromáticas por um período prolongado sem que ocorram modificações físico-químicas ou alterações microbiológicas também foi um dos principais problemas no manejo destacados por Elder *et al.* (1993).

O pardeamento é uma das reações não enzimáticas que deterioram o produto, conferindo-lhe sabores e odores desagradáveis e colorações pardo-escuras devido a reação de açúcares redutores com aminoácidos aceleradas com o aumento da temperatura e do pH. O pardeamento enzimático resulta também em colorações pardas, cuja velocidade de reação aumenta com temperatura até o limite de 45° C, logo diminuindo pela desnaturação de proteínas e o ranço produzido pela auto-oxidação de lipídios (Horn *et al.*, 1998).

Como consequência do processo de secagem, podem ocorrer algumas alterações físico-químicas tais como: perda de substâncias voláteis (óleos essenciais), capacidade de rehidratação, alteração de coloração, entre outras. Em geral, nos processos de secagem tradicionais, quando a temperatura não supera 80-100° C, as enzimas não são degradadas, mas apenas inibidas e podem ser reativadas assim que as condições de teor de água e temperatura sejam adequadas (Muñhoz, 1993).

A temperatura de secagem empregada habitualmente oscila entre 30 e 70° C conforme o material. White (1985) indica que para as plantas e folhas não ultrapassar 30° C e para raízes não mais que 38° C. De maneira geral, Page e Stearn (1992) recomendam uma secagem rápida, com calor moderado, livre circulação de ar e ausência de luz solar para evitar a alteração da cor. As recomendações de Corrêa Junior *et al.* (1994) e Oliveira (1995) diferem dos autores anteriores apenas em relação à secagem de raízes, recomendando a utilização de temperaturas de até 70° C. Novamente, nota-se uma abordagem vaga em relação às informações apresentadas, dificultando o entendimento.

Em relação a espécies produtoras de substâncias voláteis, estudos realizados com menta (*Menta piperita* L.) mostram que a secagem sob temperaturas superiores a 40° C é altamente prejudicial para o teor e composição química do seu óleo essencial (Blanco *et al.*,

2000). Os mesmos autores num estudo com alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) afirmam que a secagem sob temperaturas de até 60° C não influencia na composição química do seu óleo essencial, mas reduz o rendimento em temperaturas superiores à 40° C. Para o capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf], Martins *et al.* (2000) também desenvolveram um estudo sobre secagem observando um efeito negativo no rendimento e positivo na composição química do óleo essencial com o aumento da temperatura até 60° C, porém nenhuma influência foi observada em relação à velocidade do ar de secagem. Esta temperatura também foi considerada como limite ótimo para a secagem de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) em relação ao rendimento e composição química do seu óleo essencial (Rocha *et al.*, 2000).

Entretanto, esta faixa de temperaturas (40-60° C) recomendada favorece as atividades enzimáticas, havendo a necessidade de elevada corrente de ar forçado ou secar por alguns minutos em temperaturas entre 100-120° C para promover a estabilização e interromper os processos enzimáticos (Muñoz, 1993). Todavia, são informações relatadas com pouca clareza e detalhamento.

Portanto, uma vez realizada a colheita do material, a secagem deve iniciar-se imediatamente, colocando-se em camadas pouco espessas e não compactadas para permitir a livre passagem do ar. A taxa de secagem é a relação entre o teor de água extraída e o tempo, representada por curvas de secagem, as quais dependem do material a ser secado, maturidade da planta, acondicionamento prévio submetido, da disposição no secador, do contato entre ar e produto e, principalmente, das condições de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). Via de regra, a secagem torna-se mais eficiente em condições de maior temperatura, maior velocidade e menor umidade relativa do ar (Horn *et al.*, 1998).

Teor de água nas plantas

O teor de água não se encontra diretamente relacionado com os fatores que intervêm no processo de deterioração de um produto. Por isso, se emprega o conceito de “atividade de água” de um alimento que expressa o grau de liberdade da água contida nele, a qual é função do tipo de produto, do teor de água e de sua temperatura. Os diferentes graus em que a água está ligada determina sua atividade de água a qual é função dos efeitos coligativos, efeito de capilaridade e interação superficial (Curioni, 1998).

Muñoz (1993) relata que as plantas recém colhidas podem apresentar quantidades de água variável em suas diferentes partes: as sementes e frutos secos entre 5 a 10%, as

folhas de 60 a 90%, as raízes e rizomas entre 70 a 85% e as flores e frutos carnosos entre 80 a 90%.

Em relação à inflorescência de camomila, Ginieis (1992) menciona que a água apresenta-se sob três condições de adsorção. A primeira água é livre, quando a colheita é realizada desde o entardecer até a manhã seguinte, para a qual recomenda-se expor a altas temperaturas para uma rápida extração. A segunda água é a que ocupa os espaços intersticiais, que se deve extrair com temperaturas moderadas deixando o material semi-úmido. A terceira água constitui as células e sua extração deve ser a baixas temperaturas, pois do contrário poderá favorecer a evaporação dos óleos essenciais.

Já o teor de água adequado para a comercialização das espécies medicinais deve estar entre 5 a 10% o que minimiza possíveis danos e evita a contaminação microbiológica (CCI, 1992). Para a camomila, Ginieis (1992) relata uma variação do teor de água segundo a qualidade dos produtos obtidos, recomendando teores de 12% para as inflorescências de consumo *in natura* e de 10 a 13% para fins industriais.

2.2 SECAGEM DE SEMENTES

A técnica de secagem veio sendo aperfeiçoada visando a redução do teor de água até níveis ideais, principalmente, para a conservação de grãos e sementes. Os métodos de secagem foram empregados usando energia solar e eólica, o que se convencionou denominar de secagem natural. Observou-se que a permanência em elevados teores de água entre a colheita e o término da secagem, contribuía para a deterioração devido a elevada atividade metabólica que, além de consumir as substâncias de reserva, libera energia e água favorecendo o desenvolvimento de fungos e insetos (Carvalho, 1994).

Além disso, a baixa capacidade e taxa de secagem, principalmente em função da grande demanda de mão-de-obra e instabilidade das condições climáticas, despertou a necessidade de desenvolver equipamentos que solucionasse esses problemas, convencionando-se a denominação de secagem artificial, cujo uso foi intensificado a partir da Primeira Guerra Mundial, tornando-se prática rotineira a partir da Segunda Guerra Mundial, em função da filosofia de mecanização das atividades humanas em geral e as da agricultura em particular, nos países mais desenvolvidos (Carvalho, 1994).

Neste sentido, fatos históricos apontam para uma produção cada vez maior de grãos, exigindo colheitas cada vez mais antecipadas, seguidas de secagem e armazenamento. Estes aspectos somados com o constante aperfeiçoamento das ciências voltadas à agricultura levaram, obrigatoriamente, ao desenvolvimento dos secadores artificiais.

Toledo e Marcos Filho (1977) postularam que a secagem artificial de produtos agrícolas, principalmente em sementes, é importante sob vários aspectos: a) antecipação da colheita, reduzindo as perdas ocorrentes no campo; b) planejamento da colheita em relação às instalações e equipamentos que propiciam maior tempo de conservação das sementes; c) maior período de conservação; d) maior qualidade do produto final.

Conforme Foster (1973), os primeiros secadores desenvolvidos foram os do tipo contínuo, tendo em vista fluxos de grandes quantidades de grãos sendo processados. Posteriormente, atendendo aos desejos dos agricultores que era o de secar e armazenar no mesmo lugar foram criados os secadores-depósitos ou secadores estacionários. Em seguida, foram desenvolvidos os secadores estacionários portáteis, visando o pequeno agricultor e, depois, os contínuos portáteis, para colheitas em maior escala.

À medida que a industrialização se intensificava, alguns fatores econômicos levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias de secagem, resultando na adaptação dos equipamentos, principalmente em relação à recirculação do produto, reciclagem do ar e resfriamento do produto.

Portanto, no que se refere à secagem de grãos e sementes, dispõe-se de farta literatura nacional, mas a maioria é internacional. Em geral, as preocupações estão voltadas para estabelecer uma técnica de secagem que proporcione maior eficiência e qualidade do produto final. Para tanto são considerados muitos fatores, como: umidade relativa do ar, teor de água inicial e final da massa, temperatura do ar, temperatura da massa, vazão específica do ar, características das espécies ou cultivares, tipo de secador.

2.2.1 A Água em Grãos e Sementes

A higroscopicidade é uma propriedade que as sementes possuem, permitindo realizar intercâmbio de água, sob a forma de vapor com o ar intimamente ligado a elas, até alcançarem o ponto de equilíbrio higroscópico (Brooker *et al.*, 1974).

O teor de água dos grãos se encontra sob várias formas, sendo fundamental o seu conhecimento para entender o processo de secagem.

Quatro formas diferentes de água na semente são relatadas por Lasseran (1978) e Villela (1991), conforme a natureza das ligações físico-químicas entre seus componentes e as moléculas de água: a) em monocamada, constituída por uma camada monomolecular em torno das macromoléculas da matriz, por meio de ligações iônicas aos grupos carboxila e

amino; b) em multicamada, formada por uma camada polimolecular, fixada sobre a camada monomolecular, por meio de pontes de hidrogênio aos grupos carboxila e amino; c) osmótica, constituída por água líquida sob tensão osmótica, retendo diferentes substâncias dissolvidas nas células; d) livre, retida mecanicamente pelas paredes celulares, ocupando os espaços intercelulares.

Conforme relatos dos mesmos autores, para a evaporação da água livre há necessidade de energia em nível de calor latente de vaporização, facilitando sua retirada por ocasião da secagem. As formas de água osmótica, multicamada e em monocamada, por sua vez, apresentam suas moléculas ligadas às estruturas sólidas das sementes, sendo o nível energético crescente da água osmótica para a em monocamada. Em consequência, há necessidade de maior energia para sua remoção durante a secagem.

Weber (1995) descreve três formas de teor de água nos grãos, de interesse na secagem: a) teor de água superficial, aquela aderida externamente; b) teor de água intersticial, aquela livre entre as moléculas, mantidas por forças capilares e pelo diferencial da pressão osmótica, sem função biológica; c) teor de água de constituição, existente nas moléculas, quimicamente ligada, possuindo função biológica. Na secagem, o teor de água retirada dos grãos diz respeito ao teor de água superficial e ao teor de água intersticial. Conforme estudos realizados por Lasseran (1978), estes teores de água representam percentual de 13 até 27%. O teor de água de constituição fica em até 13%.

Cavariani e Baudet (1982) afirmam que a água no estado líquido é constituída de moléculas em constante movimento, o qual é influenciado pela temperatura. O calor estimula a movimentação molecular pela redução das forças de atração, promovendo a formação de vapor d'água.

O processo de secagem é descrito como uma troca envolvendo o ar atmosférico e a água constituinte da semente, desde que ocorram gradientes de vapor de água e de calor sensível (ar) e latente (água). Calor é a energia em trânsito, entre dois corpos ou dois sistemas, decorrente apenas da existência de uma diferença de temperatura entre eles (Bonjorno *et al.*, 1988). Estes autores definem calor sensível como a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo sob uma variação de temperatura sem que haja mudança de estado físico. Já o calor latente, os mesmos autores definem como a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo sob uma mudança do seu estado físico sem que haja variação da sua temperatura.

O teor de água de uma semente, a uma dada temperatura e em equilíbrio com a umidade relativa do ar, é denominado de equilíbrio higroscópico (Carvalho e Nakagawa, 1988). A busca do equilíbrio higroscópico determina movimentação das moléculas do estado líquido para o de vapor estimulada pelo calor proveniente do ar. Então, a energia térmica

que movimenta uma molécula de água ao longo de um gradiente de concentração, denominada de pressão de vapor, é função essencialmente da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, é função também da temperatura e movimentação do ar. O aumento da temperatura do ar e da ventilação proporciona um déficit de pressão no sentido da lâmina d'água (ou semente) para o ar, mantendo o processo de secagem (Carvalho, 1994).

O conceito de pressão de vapor de água é um tanto difícil de ser compreendido perfeitamente e, muito freqüentemente pode ser confundido. Neste sentido, Lee e Sears⁴, citados por Villela (1991), esclarecem que a pressão de vapor é a expressão da força exercida pelas moléculas do vapor por unidade de área quando, na interface entre um líquido e seu vapor, existe equilíbrio entre a taxa de vaporização do líquido e a taxa de condensação do vapor.

Em complemento, Lasseran (1978) afirma que o vapor d'água presente na semente tende a ocupar todos os espaços intercelulares disponíveis, gerando pressões em todas as direções, inclusive na interface entre a semente e o ar, que é denominada de pressão parcial de vapor d'água na superfície da semente. Enquanto que o vapor d'água presente no ar exerce uma pressão parcial, influenciada pela sua concentração e temperatura, que é denominada de pressão parcial de vapor d'água do ar.

Kneule⁵, citado por Villela (1991), refere-se às trocas de energia durante o processo de secagem, afirmando que:

O consumo de calor resultante da evaporação da água é acompanhado por um resfriamento da massa de ar. A adsorção do vapor d'água pelo ar permite que, embora ocorra o decréscimo da temperatura, o balanço energético global das trocas seja nulo porque o ar recupera, sob a forma de vapor, o que perdeu sob a forma de calor sensível. O resfriamento do ar no curso da secagem é apenas parcial, pois há necessidade que o ar permaneça suficientemente aquecido para adsorver a maior quantidade possível de água, cuja capacidade de adsorção aumenta em função da temperatura.

Os grãos podem apresentar movimento de moléculas de água tanto de dentro para fora (dessorção) quanto de fora para dentro (adsorção), dependendo do gradiente de pressão do vapor de água entre o ar e o produto. Assim, o teor de água de equilíbrio depende, dentre outros fatores, da composição química das sementes, umidade relativa do ar, temperatura, tamanho e integridade das sementes. Neste sentido, Popinigis (1985), Carvalho e Nakagawa (1988) postulam que as sementes amiláceas apresentam ponto de equilíbrio higroscópico maior que as sementes oleaginosas, para uma mesma condição de

⁴ LEE, J. F.; SEARS, F. W. **Termodinâmica**. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1969. 667p.

⁵ KNEULE, F. **El secado**. Bilbao: Urmo, 1966. 405p.

temperatura e umidade relativa do ar, visto que os carboidratos mostram maior afinidade higroscópica que os lipídeos.

Neste sentido, uma importante consideração sobre a função da água para o crescimento e atividade de microrganismos, bem como para as funções celulares é o “status” de energia relativa da água, expresso pelo potencial da água, que se refere à disponibilidade da água para os processos vitais (Cook e Papendick, 1978). Em geral, os mesmos autores relatam que a água pura livre possui potencial de energia igual a zero e a água sob pressão tem potencial de energia positivo.

Salisbury e Ross (1992) definem potencial da água como potencial químico da água em um sistema ou parte de um sistema, expresso em unidades de pressão e comparado com o potencial químico da água pura numa pressão atmosférica e numa mesma temperatura e gravidade, com o potencial químico de referência da água sendo fixado em zero.

Para Taiz e Zeiger (1998), o movimento da água é direcionado por uma redução na energia livre, podendo ocorrer por difusão, fluxo de massa ou pela combinação destes mecanismos fundamentais de transporte. A concentração da solução e a pressão hidrostática são os principais fatores que afetam o potencial da água, além da gravidade quando grandes distâncias estão envolvidas. A relação é dada por $\psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_g$ onde: “ ψ_w ” é o potencial da água, “ ψ_s ” é o potencial osmótico, “ ψ_p ” é o potencial de pressão e “ ψ_g ” é o potencial gravitacional. Em solos, sementes e paredes celulares secas, a redução no potencial da água pode ser atribuído ao potencial mátrico (ψ_m). As células facilmente entram em equilíbrio de potencial da água com o meio pela absorção ou perda de água. Essa mudança no volume celular resulta numa mudança no ψ_p da célula, seguido de menores mudanças no ψ_s . Assim, a taxa de transporte de água através da membrana depende da diferença de potencial da água da membrana, bem como de sua condutividade hidráulica.

Assim, a força que direciona o movimento da água é função dos gradientes no potencial químico ou potencial da água, o qual é influenciado por cinco principais fatores: concentração, temperatura, pressão, soluto e matriz (Salisbury e Ross, 1992).

O modo mais utilizado para aumentar o diferencial entre as pressões de vapor da superfície das sementes e do ar de secagem é o aquecimento do ar, diminuindo sua umidade relativa, que adquire maior capacidade de retirada de água. Quanto mais seco o ar mais rápido é o movimento do teor de água da semente para o ar, esse processo se verifica enquanto houver este gradiente de pressão parcial de vapor. Quando o ar está saturado não se dá mais a transferência de vapor. Nesse momento, para que haja o prosseguimento do processo de secagem, há necessidade de um máximo de ar, sendo que, para a secagem

eficiente de 100 litros de sementes, este valor situa-se entre 12 a 16 m³ de ar por minuto (Toledo⁶, citado por Carvalho e Nakagawa, 1988).

Verifica-se, no entanto, um momento em que qualquer acréscimo no fluxo de ar contribui muito pouco para a secagem. Este fato é atribuído ao movimento do teor de água do interior da semente para a superfície ocorre vagarosamente, em função de mecanismos como: ações capilares, difusão do teor de água, gradientes de pressão de vapor, gravidade e vaporização do teor de água (Hall⁷, citado por Carvalho e Nakagawa, 1988). Daí a importância do aquecimento do ar visando abaixar sua umidade relativa para gerar um gradiente de pressão de vapor em relação à semente. Mas, é preciso que este aquecimento seja feito com muita cautela, pois poderá favorecer a danificação do produto final, fato este comprovado por diversos pesquisadores de secagem.

Com relação à temperatura de secagem, tem-se a do ar e a da massa do produto, sendo fundamental distingui-las. Neste sentido, Toledo e Marcos Filho (1977) recomendam que para teores de água acima de 18%, entre 10-18% e abaixo de 10%, a temperatura da semente não ultrapasse 32, 38 e 43° C, respectivamente. Portanto, esses parâmetros passaram a ser considerados para adequar a temperatura do ar para a secagem de sementes. O tempo e o modo de exposição do produto ao ar aquecido variam com o tipo de secador.

A utilização de altas temperaturas se justifica pelo aumento da taxa de secagem de materiais colhidos com elevados teores de água, pois segundo Lasseran (1982), um maior tempo gasto no secador pode comprometer a qualidade das sementes. Entretanto, Harrison e Wright (1929), Kreyger (1960) e Herter e Burris (1989) afirmam que a temperatura de 50° C na massa já reduz a qualidade fisiológica das sementes.

Carvalho (1994) classifica os métodos de determinação de água de sementes em dois tipos, a seguir.

Primários ou diretos: são processos pelos quais se remove e se quantifica (por peso ou por volume) a água contida na semente, os quais são três: secagem em estufa e cálculo do peso perdido: métodos de estufa (ventilada, Brabender, a vácuo); remoção de água por destilação e medida do volume representado pela água: métodos de destilação (tolueno, Brown-Duvel); extração da água com um solvente e determinação da quantidade através de processos tritimétricos, cromatográficos ou espectrofotométricos (extração por solventes, Karl-Fischer).

Secundários ou indiretos: são métodos pelos quais se mede alguma característica da semente que, de alguma forma, se relaciona com seu teor de água, sendo calibrados pelos

⁶ TOLEDO, F. F. **Produção de sementes**. Piracicaba: E.S.A. "Luiz de Queiroz", 1969. 59p.

⁷ HALL, C. W. **Drying farm crops**. Ann Arbor: Edward Brothers Inc., 1957. 336p.

métodos primários. Os mais comuns são aqueles baseados em propriedades elétricas (capacitância e condutividade) de sementes. Outros secundários são: higrometria, espectroscopia de luz infravermelha, ressonância nuclear magnética, espectroscopia de microondas e reações químicas. Têm como principal vantagem a rapidez dos resultados.

Conforme relatos do mesmo autor, o cálculo para o teor de água de sementes em que se divide a massa da água perdida pela massa original da amostra – denominado base úmida – leva a alguns erros porque as mudanças na massa da semente, quando submetida à temperatura de secagem, não são diretamente proporcionais às perdas de água. Quando o cálculo do teor de água é feito utilizando como base a massa final da amostra ou massa seca – denominado de base seca – torna-se um dado mais confiável. Assim, é prudente utilizar interconversão de porcentagem de água de base úmida (b.u.) para base seca (b.s.), por meio de fórmula específica.

O estudo dos diversos fatores que influem no processo de secagem levou ao desenvolvimento de algumas tecnologias visando à eficiência do processo e a qualidade do produto final. Na sequência, estão descritos alguns métodos de secagem.

2.2.2 Métodos de Secagem

Secagem natural

As sementes são secadas naturalmente pela ação da energia do sol e do vento, distribuídas em camadas de espessura variável. Portanto, sua eficiência depende diretamente das condições climáticas. É caracterizado pela ausência de qualquer manipulação dos fatores de secagem. Sua recomendação é para secagem em pequena escala em sementes de espécies forrageiras (Carvalho, 1994).

Secagem artificial (Carvalho e Nakagawa, 1988)

É caracterizada por submeter as sementes a equipamentos que possibilitem a manipulação dos fatores de secagem visando a redução do teor de água num período de tempo relativamente curto.

Secagem com ar não aquecido: consiste em apenas forçar a passagem do ar pela massa de sementes sem qualquer aquecimento prévio. É propício para regiões, ou em

épocas, em que a umidade relativa do ar é baixa o suficiente ao equilíbrio higroscópico em níveis ideais para a conservação.

Secagem com aquecimento suplementar: torna-se necessária quando em secagem com ar não aquecido as condições de umidade relativa e temperatura do ar não são suficientes para promover o equilíbrio higroscópico em níveis ideais para a conservação. Normalmente, se aquece de 5,5 a 11° C em relação a temperatura ambiente.

Secagem com ar aquecido: o ar forçado é sempre aquecido visando acelerar o processo de secagem, evitando a deterioração da massa de sementes.

Circuito fechado com dessecador: consiste na desumidificação do ar, o qual é utilizado muitas vezes num sistema de circuito fechado. Porém, está restrito a condições especiais.

Secagem à vácuo: também é usado em condições especiais de modo a secar as sementes a baixos índices de teor de água.

Secador infravermelho: consiste no aquecimento da semente visando um movimento do teor de água interna para a superfície. É um processo inviabilizado apenas em função de seu elevado custo.

Secagem estacionária (Carvalho, 1994)

Consiste na passagem do ar, aquecido ou não, de maneira forçada pela massa de sementes em repouso até que o teor de água desejado seja atingido. A água evaporada é arrastada pelo ar em movimento de modo que se modificam sua temperatura e sua umidade relativa. Assim, à medida que se afasta do ponto de entrada na massa o ar fica cada vez mais úmido e cada vez mais frio até que o processo de secagem é interrompido, ou seja, o ar não mais é capaz de provocar a evaporação da água constituinte do produto.

O processo de secagem é da base para o topo da camada de sementes nos secadores de fluxo axial, conforme o deslocamento da frente de secagem, região onde se efetiva o intercâmbio de água entre o ar e a semente. A espessura da frente de secagem depende do período de tempo necessário para que o ar de secagem fique saturado. Frentes de secagem espessas se estabelecem quando a diferença entre os valores da umidade relativa de equilíbrio higroscópico com o teor de água das sementes e a umidade relativa do ar é pequena e quando as taxas de ventilação são altas. A velocidade de deslocamento da frente de secagem determina a velocidade do processo de secagem.

Se o deslocamento da frente de secagem for muito lento, dependendo do teor de água com que os produtos se encontrem, as camadas do topo da massa poderão entrar em

deterioração. Neste sentido, há grande preocupação em se estabelecer uma relação entre temperatura do ar e teor de água para cada espécie a ser secada. Para algumas espécies isto já está postulado, principalmente para as grandes culturas. Enquanto que para outras, principalmente espécies cultivadas em menor escala, ainda não se dispõe de informações seguras.

A ventilação não é uma operação característica da secagem estacionária, mas de todos os tipos de secagem bem como de processos de redução da temperatura dos produtos. Assim, é a operação pela qual o ar é forçado a atravessar uma camada de produto com espessura variável. Tem por finalidade veicular energia térmica e remover o vapor de água evaporado dos produtos mantendo baixa a umidade relativa do ar ao redor dos produtos o suficiente para que o processo de secagem continue. Portanto, para que o ar desempenhe seu papel, ele deve superar todos os obstáculos, saindo na superfície da camada de produto.

A ventilação pode ser classificada em: a) Insuflação de ar, em que o ar quente proveniente da fornalha passa através do rotor do ventilador e é insuflado na massa de produto; b) Aspiração, que é o mais indicado para secadores que trabalham pelo sistema de secagem contínua, porque faz a movimentação de ar de secagem e de resfriamento. Outra classificação refere-se à direção do ar e da massa: a) Concorrente, quando a direção e sentido do fluxo de ar são a mesma do fluxo do produto; b) Contra-corrente, quando os fluxos de ar e do produto são na mesma direção, porém em sentidos contrários; c) Cruzado, quando o fluxo de ar é perpendicular ao fluxo do produto; d) Misto, quando num mesmo equipamento existem dois ou mais fluxos de ventilação.

A velocidade de deslocamento da frente de secagem é função essencialmente do fluxo de ar que se movimenta pela massa de produto. Portanto, o que realmente determina a velocidade de deslocamento da frente de secagem, é a vazão proporcionada pelo ventilador. A vazão é o resultado do produto da velocidade média do fluido em escoamento pela área da seção transversal ao duto no ponto onde a velocidade foi determinada. É expressa em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ou $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

A velocidade do ar pode ser obtida por cálculo a partir do valor da pressão dinâmica determinado no tubo de Pitot, que é fundamentado na relação entre a energia potencial e a cinética do ar.

Estas medidas do ar em movimento visam estabelecer valores tais que sejam suficientes para que o ar desempenhe seu papel de veicular a energia térmica necessária para que o processo de secagem continue. Além disso, o conhecimento das resistências que o ar pode encontrar em seu trajeto, também é de grande interesse.

Conforme Carvalho (1994), basicamente, as resistências que o ar encontra em seu caminho localizam-se no sistema condutor e na massa de produto. As perdas de energia no sistema condutor ocorrem por efeito do atrito contra as paredes dos dutos, por mudanças de direção, pela ocorrência de ramificações e por mudanças na área de seção transversal dos dutos, tornando complexos os cálculos da quantidade de energia gasta na superação de cada um desses obstáculos.

Sobretudo, o mesmo autor postula que na massa de produto interferem dois fatores que atuam em níveis praticamente impossíveis de serem previstos, tornando-se, então, obstáculos ainda mais difíceis de serem calculados. Refere-se à maneira como a massa está arranjada dentro da câmara de secagem em relação ao seu grau de compactação, bem como em relação às dimensões das partículas constituintes das impurezas que a acompanham.

No caso de sementes, este autor cita alguns fatores que interferem na resistência à movimentação do ar, mas julgados como fáceis de prever e calcular: tamanho, forma, teor de água e espessura da camada. Nessa obra, encontram-se tabelas relacionando espécie, teor de água, espessura de camada e fluxo de ar.

Os ventiladores são componentes indispensáveis do processo de secagem artificial por serem os responsáveis pela movimentação do ar através da massa de produto. O ar é aspirado ou insuflado por meio da transformação da energia mecânica das pás dos ventiladores em energia do ar em movimento.

Os ventiladores axiais são altamente eficientes em função da trajetória retilínea do ar resultar num mínimo de perda de energia. Além disso, suas características construtivas permitem melhor refrigeração do motor e economia de espaço físico. No entanto, os ventiladores centrífugos são menos eficientes em função da direção de entrada do ar fazer um ângulo de 90° com a da saída. Estes ventiladores podem ser encontrados com três tipos de pás. As pás retas conferem pressões muito pequenas, inviabilizando seu uso para no processo de secagem. As pás curvadas para frente caracterizam-se pela face côncava estar voltada para a direção da rotação, que proporciona maior velocidade do ar. As pás inclinadas para trás têm sua face convexa voltada para a direção de rotação operando contra maior pressão estática, o que confere maior eficiência entre os centrífugos e, conseqüentemente, sua maior utilização na secagem. Os ventiladores podem ser movidos por eletricidade, combustível ou tomada de força do trator. A melhor opção fica a critério de fatores circunstanciais (Carvalho, 1994).

Neste sentido, Peske e Aguirre (1987) e Villela (1991) recomendam para sementes com teor de água entre 16 a 18%, fluxos de ar entre 8 a 10 m³.min⁻¹.t⁻¹, espessura da camada não superior a 1,5 m, com tamanho similar ao da soja, umidade relativa do ar de

secagem não inferior a 40% e temperatura máxima do ar de secagem de 43° C, com o intuito de evitar a supersecagem, bem como a deterioração nas extremidades da camada de sementes.

Em geral, a velocidade do ar de secagem varia em função do teor de água inicial da semente, temperatura e fluxo de ar de secagem, fluxo da semente no secador, método de secagem, cultivar e histórico do lote. Baseados nisto, Villela e Baudet (1996) recomendam uma vazão específica do ar de 4 a 20 m³.min⁻¹.t⁻¹ de sementes de arroz secadas em modelos estacionários, pois sob fluxos inferiores a 4 m³.min⁻¹.t⁻¹ a secagem será muito lenta; por outro lado, utilizando fluxos superiores a 20 m³.min⁻¹.t⁻¹, exigirá elevada potência do ventilador, onerando de maneira considerável o processo de secagem.

Estas informações podem, de certa forma, serem empregadas na secagem de outras espécies. Para isso, basta transformar a vazão do ar em m³.min⁻¹.m⁻², a partir do peso volumétrico da espécie desejada que está diretamente relacionado com seu teor de água. Para fazer os cálculos, é necessário que se determine a massa das sementes que estão sobre uma área conhecida. Esse valor depende da espessura da camada de sementes em secagem (Carvalho, 1994).

A energia térmica atuante na evaporação da água dos produtos é gerada no combustor por meio da queima do combustível. Nos combustores de fogo direto, os gases resultantes são insuflados juntamente com o ar aquecido, o que expõe as sementes à fuligem e fagulhas. Nos combustores de fogo indireto, o ar aquecido insuflado é mais limpo em função da eliminação de fagulhas e fuligens (Carvalho, 1994).

O mesmo autor relata que podem ser empregados alguns tipos de combustíveis, como: sólido, derivados de petróleo, a gás, elétricos. Os combustíveis mais usados são: gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, óleo diesel, carvão, lenha e resíduos vegetais. Dos quais, o GLP e o gás natural são os que apresentam queima completa, produzindo poucos subprodutos de combustão. O gás traz como vantagem a estabilidade na geração de calor (Berti *et al.*, 2001; Portela e Martins, 2001) superando a energia elétrica e outros combustíveis.

Secagem contínua

Neste método, conforme Toledo e Marcos Filho (1977), Carvalho e Nakagawa (1988) e Carvalho (1994), é estabelecido um fluxo contínuo das sementes, as quais são também submetidas a um fluxo de ar forçado, aquecido ou não. Este fluxo deve ser tal que permita a perda de água até níveis ideais para a conservação. Portanto, o material entra no secador

com um determinado teor de água e deve sair na outra extremidade com teor de água que se deseja e com temperatura mais próxima possível da do ambiente. Para isso, é fundamental o adequado funcionamento do dispositivo que regula a velocidade de escoamento contínuo do produto pelo interior da câmara de secagem, que está diretamente relacionado com a alimentação e descarga do equipamento.

Quando o teor de água inicial é muito elevado (acima de 20%), o correto seria reduzir a velocidade de escoamento e aumentar o fluxo de ar, porém, o produto freqüentemente é submetido a mais de uma passagem pela câmara de secagem, passando a operar como um secador intermitente, com o intuito de reduzir a probabilidade da ocorrência de dano térmico.

Embora não seja muito usual, a secagem contínua também pode ser entendida como a exposição permanente das sementes sob a ação do ar aquecido, até o seu teor de água ser reduzido em níveis adequados ao armazenamento (Rosa⁸, Brooker *et al.*⁹ e Puzzi¹⁰, citados por Villela, 1991).

Vários são os modelos de secadores contínuos empregados na secagem de grande escala, principalmente na secagem de grãos, os quais possuem características construtivas comuns visando proporcionar uma adequação correta da velocidade de escoamento, fluxo e temperatura do ar, em relação ao teor de água inicial e final do produto.

Secagem intermitente

As sementes passam mais de uma vez pela câmara de secagem, com as sementes em fluxo contínuo ou em repouso, submetidas a um fluxo de ar forçado. Após um período de aquecimento, na câmara de secagem, há um período de equalização, na câmara correspondente. Conforme Carvalho (1994), a alternância entre a câmara de secagem e de equalização, chamada de intermitência, pode variar de 1:1 a 1:15, ou seja, para cada período de tempo na câmara de secagem o produto permanece o tempo de 1 a 15 vezes na equalização. Neste sentido, Aguirre e Peske (1988) classificaram os secadores intermitentes em lentos (1:0,5 a 1:3) e rápidos (1:8 a 1:15). Sua utilização é freqüente na secagem de sementes, pois a intermitência permite que ocorra o transporte de água do interior para a superfície da semente durante o período de repouso, reduzindo o gradiente de sua concentração no interior do produto.

⁸ ROSA, O. S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 5., Macaray, 1966. *Anais*. Macaray, 1966. 27p.

⁹ BROOKER, D. B; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying cereal grains*. Westport: AVI Publishing, 1974. 265p.

Enquanto a água estiver sendo evaporada em taxas relativamente altas, não há possibilidade de que a temperatura das sementes se equilibre com a do ar de secagem, daí a menor ocorrência de danos térmicos. No entanto, o produto pode sofrer níveis severos de danos mecânicos em função da sua maior circulação no equipamento, o que exige cuidados especiais.

Neste sentido, Ahrens *et al.* (2000) estudando o comportamento da secagem intermitente em aveia-branca (*Avena sativa* L.), obtiveram uma taxa de secagem de 2,8 pontos percentuais e nenhuma influência prejudicial à qualidade fisiológica e industrial, mesmo sob a temperatura de 80° C no ar de secagem.

2.2.3 Taxa de secagem

Com relação a taxa de secagem dos grãos, grande parte dos estudos mostram que o comportamento do teor de água no decorrer da secagem não se dá segundo uma linha reta, porém segundo uma curva. Entre estes trabalhos, Hall¹¹, citado por Villela (1991), descreve o processo de secagem de um produto, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar, apresentando um período de taxa constante e outro de taxa decrescente.

Conforme descrito por Carvalho (1994), o período inicial da curva característica de secagem, é o período de indução e ocorre quando o produto está mais frio do que o ar de secagem, de tal forma que sua temperatura aumenta até atingir um patamar constante. Durante o período de taxa constante, a temperatura do produto se mantém igual à de saturação do ar de secagem. As transferências de calor e massa se compensam e a taxa de secagem é constante, alcançando seu valor máximo. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a taxa de secagem porque a taxa de deslocamento interno da água para a superfície do produto é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção de vapor de água pelo ar, sendo evaporada a água livre.

As sementes, em geral, apresentam o período de secagem com taxa constante muito curto, ou inexistente, porque, nas condições operacionais de secagem, as resistências às transferências de água encontram-se essencialmente no seu interior, tornando a taxa de evaporação superficial acentuadamente superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície (Lasseran, 1978).

¹⁰ PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

¹¹ HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport, Avi Publishing, 1980. 382p.

No período de taxa decrescente de secagem, a taxa de transporte interno de água é menor do que a taxa de evaporação. Dessa forma, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa e, em consequência, a temperatura da semente aumenta, tendendo à temperatura do ar de secagem. (Villela, 1991).

O processo de secagem, durante o período de taxa decrescente, fundamenta-se em duas teorias básicas (Fortes, 1978; Villela, 1991): a) a teoria difusional considera a difusão de água na fase líquida como o principal mecanismo de secagem de sementes; b) a teoria capilar é aquela em que o movimento de água num produto é ocasionado por forças capilares, resultantes dos efeitos das diferenças entre a pressão hidrostática e a tensão superficial, porém não se aplica às sementes.

Ahrens *et al.* (2001) estudando a secagem estacionária de sementes de guandu (*Cajanus cajan*) sob temperaturas compreendidas entre 35 a 75° C, constataram maior taxa de secagem para as temperaturas de até 45° C, indicando que temperaturas mais elevadas nem sempre são mais eficientes.

3 METODOLOGIA

A camomila, objeto deste estudo, foi proveniente de um dos produtores da cidade de Mandirituba, localizada a 50 km de Curitiba, capital do Paraná.

Este estudo foi dividido em duas fases: a primeira, caracterizada pela utilização de diferentes temperaturas do ar, conduzidas na safra de 2000; e a segunda, utilizando diferentes vazões específicas do ar, na safra de 2001.

A seleção dos valores utilizados tanto para temperatura como para vazão específica do ar de secagem, foi baseado nas recomendações técnicas para a camomila feitas pela extensão rural, bem como o que têm sido adotado no cotidiano pelos produtores de camomila em Mandirituba. Baseou-se também em recomendações feitas para grãos e sementes, principalmente para a vazão específica, pois a literatura é escassa em relação a espécies medicinais.

3.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

A primeira fase experimental objetivou avaliar a influência de diferentes temperaturas constantes do ar de secagem na remoção de água e de óleo essencial ao longo do processo de secagem da camomila.

Assim, entre os meses de outubro e dezembro, período da safra da camomila, do ano de 2000, o processo de colheita foi realizado, com teor de água entre 77-82%, utilizando equipamento (carrinho) de tração animal desenvolvido pelos próprios produtores, sendo imediatamente classificada por meio de peneiração em malha com furos circulares de 0,02 m de diâmetro, de modo a separar os capítulos florais avulsos daqueles acompanhados pelas ramas. Cerca de 20 kg do material classificado, caracterizado pelo maior número de capítulos florais avulsos e comercialmente denominado de camomila de primeira, foram colocados em sacos de ráfia e imediatamente transportados até o Laboratório de Análise e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

A massa de capítulos florais foi homogeneizada e depois separada em cinco partes iguais, acondicionadas em bandejas cujas dimensões externas são 0,6 x 0,6 x 0,1 m. O fundo das bandejas constituído por malha com furos circulares de 0,025 m de diâmetro foi revestido com tela de nylon de malha fina (mosquiteira), impedindo a perda de capítulos

florais sem interromper a passagem do ar aquecido forçado através da camomila. A massa de 4 kg de camomila úmida em cada bandeja foi suficiente para completar sua capacidade volumétrica, resultando numa altura de camada de 0,1 m. Em seguida, cada bandeja foi colocada em sua respectiva câmara de secagem.

A secagem do tipo estacionária, com ar aquecido forçado, foi empregada utilizando-se um protótipo constituído de cinco câmaras de secagem cujas dimensões internas individuais são 0,6 x 0,6 x 0,7 m (Figura 1a). Dotadas inicialmente de apenas um sistema de aquecimento do ar por meio de resistência elétrica, localizada logo após o ventilador, com controle da temperatura por meio de termostato digital (Prow® CT-300R) cujo sensor está localizado no interior da câmara de secagem, suspenso logo abaixo da bandeja.

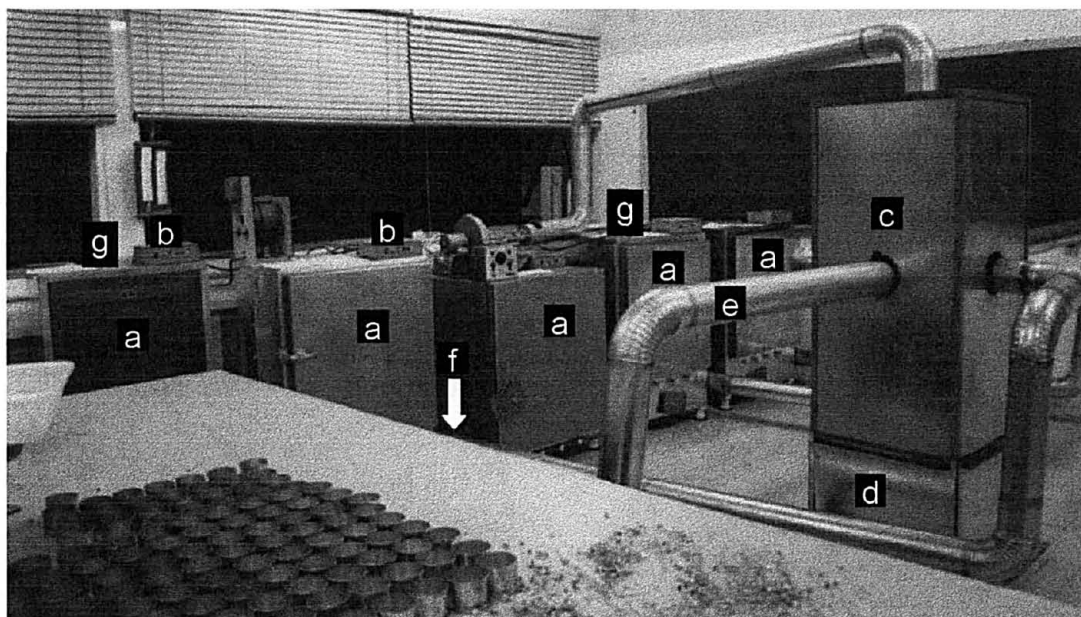


FIGURA 1 – Protótipo utilizado na secagem estacionária da camomila: a) câmara individual de secagem; b) termostato digital; c) câmara em comum de aquecimento do ar; d) queimadores a gás; e) tubulações de ar aquecido; f) ventilador individual e entrada do ar aquecido; g) saída do ar. Curitiba, PR. 2000

Ensaio preliminares indicaram a necessidade de proceder-se modificações neste protótipo ao constatar-se que as resistências elétricas não eram suficientes para elevar a temperatura até níveis pretendidos, foi construído um sistema de aquecimento do ar por meio da combustão de GLP em queimadores denominados infravermelhos (Figura 1d).

As câmaras de secagem passaram a ser alimentadas por ar aquecido proveniente de uma câmara de aquecimento em comum, medindo 0,55 x 0,55 x 1,60 m (Figura 1c). Tubulações cilíndricas individuais de 0,10 m de diâmetro, em chapa galvanizada, com início na câmara de aquecimento, conduziram o ar aquecido até as câmaras de secagem (Figura

1e). Assim, as resistências elétricas se tornaram apenas uma fonte secundária de calor, mas de fundamental importância por facilitar o controle preciso e individual da variação da temperatura do ar por meio de termostato digital (Figura 1b). Ainda, para facilitar o controle fino da temperatura, foram construídos registros individuais de ar não aquecido localizados próximo aos ventiladores, nas tubulações que ligam as câmaras de secagem à câmara de aquecimento.

O protótipo estando apto aos ajustes necessários de temperatura do ar, a secagem foi iniciada com a execução simultânea de cinco experimentos, distribuídos dentre as câmaras de secagem. As repetições foram executadas sempre na mesma câmara e em diferentes datas durante o período desta safra da camomila.

No primeiro experimento, caracterizado pela secagem da camomila a 35° C por um período de 26 horas, foram coletadas amostras compostas a cada duas horas a partir do tempo zero. Repetido por quatro vezes, este experimento gerou 52 amostras coletadas, totalizando 13 tratamentos (tempos de secagem).

No segundo experimento, secando a camomila a 50° C por um período de 16 horas, amostras compostas foram coletadas a cada duas horas a partir do tempo zero. Em quatro repetições, neste experimento obtiveram-se 32 amostras coletadas, totalizando oito tratamentos (tempos de secagem).

No terceiro experimento, expondo a camomila à 65° C por um período de 14 horas, foram coletadas amostras compostas a cada duas horas a partir do tempo zero. Foram coletadas 28 amostras correspondentes a quatro repetições e sete tratamentos (tempos de secagem).

No quarto e no quinto experimentos, caracterizados pela secagem da camomila a 80 e 95° C, respectivamente, por um período de dez horas, foram coletadas amostras compostas a cada duas horas a partir do tempo zero. Repetidos por quatro vezes, cada experimento gerou 20 amostras coletadas, totalizando cinco tratamentos (tempos de secagem).

Os ventiladores responsáveis pelo movimento ascendente do ar através da massa de camomila eram individuais, permitindo um ajuste da vazão específica para cada câmara de secagem. São ventiladores do tipo centrífugos, com 30 pás curvas para frente medindo 0,015 m de largura e 0,1 m de comprimento, dispostas em forma circular cujo diâmetro externo é de 0,15 m, movidos por motor elétrico de 1/3 cv com 1745 rotações por minuto, localizados na parte lateral esquerda inferior de cada câmara de secagem (Figura 1f).

A vazão específica do ar de secagem foi padronizada em 242 m³.min⁻¹.t⁻¹ para os cinco experimentos, valor este correspondente ao mínimo ajuste conseguido em todas as câmaras de secagem diante das limitações do protótipo. A velocidade (m.s⁻¹) do ar foi obtida

com anemômetro digital (Kestrel®-1000) colocado numa tubulação retilínea de 1 m de comprimento e 0,05 m de diâmetro, acoplada na extremidade de saída do ar (Figura 1g). A partir da obtenção dos dados de velocidade do ar e da área da seção transversal do duto na extremidade de saída do ar, a vazão específica foi calculada por meio da fórmula $Q = \frac{A \times v}{m}$ onde: “Q” é a vazão específica; “A” é a área da seção transversal ao duto; “v” é a velocidade do fluido e “m” é a massa do material úmido. Após as devidas transformações das unidades a vazão específica foi expressa em $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ (Halliday *et al.*, 1996).

Para o monitoramento do processo de secagem, a cada duas horas de secagem, amostras compostas foram tomadas aleatoriamente em cinco pontos da bandeja, totalizando 0,24 kg, de maneira a representar todo o perfil da massa de camomila. Os locais amostrados eram uniformizados novamente. O sistema de aquecimento e ventilação foi mantido em funcionamento, e ao abrir a porta da câmara de secagem procedeu-se a amostragem. Imediatamente após a coleta e homogeneização, as amostras foram destinadas à determinação dos teores de água e de óleo essencial. Pouco antes de abrir as portas das câmaras de secagem, para proceder à amostragem, foi registrada a temperatura do ar de entrada por meio da leitura no termostato, cujo sensor permaneceu suspenso sob a bandeja. Na sequência, logo após abrir as portas das câmaras de secagem, fez-se a leitura da temperatura da massa de camomila (ou temperatura da camomila) por meio de um termômetro comum colocado no momento do acondicionamento da camomila na bandeja.

Imediatamente após a coleta das amostras, a vazão específica foi monitorada por anemômetro em tubulação retilínea, ajustando-se quando necessário de modo a promover uma ventilação uniforme durante todo o processo de secagem.

Na verificação do teor de água pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ \text{C}$ por 24 horas (Brasil, 1992), utilizou-se 0,02 kg de camomila para cada uma das duas repetições. O teor de água, expresso em porcentagem de base úmida, foi calculado pela fórmula $\% \text{ Umidade (U)} = \frac{100(P - p)}{P - t}$ onde: “P” é a massa inicial da amostra; “p” é sua massa bruta final e “t” é a massa do recipiente com sua respectiva tampa (tara).

O óleo da camomila foi extraído por meio de hidrodestilação utilizando o aparelho do tipo Clevenger (Wasicky, 1963). Após terem sido acondicionadas em geladeira, amostras de 0,1 kg, em duas repetições, oriundas da amostragem efetuada a cada duas horas de secagem, foram colocadas em balão volumétrico de 2 L com aproximadamente 0,9 L de água, acoplado ao hidrodestilador. Então, aquecido por manta elétrica, permaneceu em ebulição por quatro horas. Na hidrodestilação o teor de óleo presente na amostra foi volatilizado e arrastado pelo vapor d’água até um condensador. Além da coloração azul conferida pelo azuleno, a separação do óleo essencial da camomila também é favorecida pela diferença de densidade em relação à água, no momento em que são condensados,

facilitando a leitura em escala graduada do Clevenger, depois de encerrado o período de hidrodestilação. O teor de óleo essencial, expresso em porcentagem de base seca, foi calculado pela fórmula $\% \text{ Óleo essencial} = \frac{V}{m - U} \times 100$ onde: "V" é o volume de óleo essencial extraído; "m" é a massa da amostra e "U" é o teor de água da amostra.

3.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR

A segunda fase experimental objetivou a avaliação de diferentes vazões específicas constantes do ar de secagem em função da perda de água e de óleo essencial ao longo do processo de secagem da camomila. Foi realizada durante a safra de 2001, adotando-se metodologia de monitoramento semelhante à primeira fase experimental.

Acreditava-se que haveria a possibilidade de ajustar-se os ventiladores constituintes do protótipo, de modo a operarem com as cinco vazões específicas do ar pretendidas para a secagem da camomila. Porém, ensaios preliminares, realizados entre as safras de 2000 e 2001, mostraram a necessidade de se fazer algumas modificações neste protótipo, dando maior flexibilidade ao ajuste dos ventiladores.

Assim, em cada câmara de secagem, foi construída uma válvula de escape, em forma de guilhotina, próxima ao ventilador. Isto possibilitou o escape do ar de dentro do plenum, cujo volume insuflado pelo ventilador era muito superior ao que se pretendia utilizar. Dessa maneira, êxito foi obtido já na primeira tentativa, tornando o equipamento passível dos ajustes pretendidos.

Então, o protótipo foi submetido aos ajustes necessários de vazões específicas do ar iniciando a secagem com a execução simultânea das quatro repetições, sendo os cinco experimentos efetuados em diferentes datas durante o período da safra da camomila, o que difere da primeira fase experimental.

Nesta fase experimental, para os cinco experimentos, a temperatura do ar de secagem foi fixada em 80° C, pois de acordo com a avaliação dos resultados da primeira fase experimental, foi o experimento que se destacou entre os demais com relação à velocidade de secagem e teor final de óleo essencial. Conseqüentemente, foram também utilizados tempos de secagem, baseando-se nos resultados obtidos no terceiro e no quarto experimentos.

Assim, suas respectivas repetições foram distribuídas dentre as câmaras de secagem. Assim como na primeira fase, a temperatura e as vazões específicas do ar foram monitoradas durante todo o processo de secagem, sendo corrigidas quando necessário. As

amostragens também foram feitas de maneira semelhante à primeira fase, sendo submetidas à análise dos teores de água e de óleo essencial.

No primeiro, no segundo e no terceiro experimento, caracterizados pela secagem da camomila a 10, 60 e 110 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, respectivamente, por um período de 16 horas, foram coletadas amostras compostas a cada duas horas a partir do tempo zero. Repetidos por quatro vezes, cada experimento gerou 32 amostras coletadas, totalizando oito tratamentos (tempos de secagem).

No quarto e no quinto experimentos, caracterizados pela secagem da camomila a 160 e 210 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, respectivamente, por um período de 14 horas, foram coletadas amostras compostas a cada duas horas a partir do tempo zero. Repetidos por quatro vezes, cada experimento gerou 28 amostras coletadas, totalizando quatro tratamentos (tempos de secagem).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e o número de tratamentos variando de acordo com cada experimento. Por meio de regressões polinomiais ($P \leq 0,01$) foram elaboradas curvas de secagem para cada experimento, relacionando os teores de água e de óleo essencial com o tempo de secagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a sequência da execução dos experimentos, a seguir estão apresentados e discutidos os dados coletados, enfatizando os teores de água e de óleo essencial monitorados ao longo do processo de secagem.

4.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

Os dados obtidos no processo de secagem da camomila, nesta primeira fase experimental, referentes à temperatura da camomila, temperatura do ar e os teores de água e de óleo essencial da camomila, estão apresentados na Tabela 1.

Foi possível observar a evolução da temperatura da camomila em função da temperatura do ar de secagem para os cinco experimentos, a cada duas horas de secagem. No primeiro experimento, embora a temperatura do ar tenha sido regular durante toda a secagem, a temperatura da camomila oscilou bastante chegando até baixar no período compreendido entre 4 e 14 horas. Talvez, este fato se deve ao período de acúmulo de energia que moléculas de água necessitam para alterar seu estado físico de líquido para o de vapor, conforme Kneule¹², citado por Villela (1991). Nos experimentos utilizando temperaturas de 50 e 65° C, grande oscilação da temperatura da camomila também foi verificada até oito horas de secagem. Após este período a camomila aqueceu rapidamente, porém permanecendo em níveis inferiores à temperatura do ar de secagem. Isto pode estar relacionado à dificuldade de perda de água da camomila em baixas temperaturas do ar, uma vez que nos experimentos a 80 e 95° C, o aquecimento da camomila ocorreu nas primeiras horas de secagem, embora apenas no quinto experimento as temperaturas do ar e da camomila tenham sido equivalentes no término da secagem.

Estas observações são relevantes quando associadas à perda de água, porque nos mesmos períodos em que a camomila aquece mais rapidamente há uma queda acentuada do teor de água, principalmente no quarto e no quinto experimento onde a taxa de secagem é superior aos demais. Por analogia, este processo pode ser resultante da troca de calor sensível (ar) e latente (água) até equilíbrio higroscópico, conforme descrito por Carvalho e

¹² KNEULE, F. *El secado*. Bilbao: Urmo, 1966. 405p.

Nakagawa (1988) para secagem de sementes e que também foi constatado por Ahrens *et al.* (2000).

TABELA 1 - Médias dos dados obtidos no processo de secagem da camomila sob diferentes temperaturas do ar e vazão específica de 242 m³.min⁻¹.t⁻¹. Curitiba, PR. 2000

| Experimentos (° C) | Tempo de secagem (h) | Temperatura da camomila (° C) | Temperatura do ar de secagem (° C) | Teor de água na camomila | | Teor de óleo essencial | |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|--|---------------------------|--|
| | | | | (%b.u.) ¹ | Perda (p.p.h ⁻¹) ² | (%b.s.) ³ | Perda (p.p.h ⁻¹) ² |
| 1º experimento | 35 | 0 | 25,6 | 79,9 | - | 1,99 | - |
| | | 2 | 31,8 | 80,1 | 0,0 | 1,44 | 0,28 |
| | | 4 | 30,0 | 79,3 | 0,4 | 0,83 | 0,31 |
| | | 6 | 28,6 | 78,8 | 0,3 | 0,89 | 0,00 |
| | | 8 | 28,5 | 78,4 | 0,2 | 1,11 | 0,00 |
| | | 10 | 28,8 | 78,4 | 0,0 | 0,98 | 0,07 |
| | | 12 | 26,1 | 76,1 | 1,2 | 1,01 | 0,00 |
| | | 14 | 24,5 | 75,3 | 0,4 | 0,85 | 0,08 |
| | | 16 | 26,5 | 74,1 | 0,6 | 1,12 | 0,00 |
| | | 18 | 28,0 | 71,9 | 1,1 | 0,86 | 0,13 |
| | | 20 | 29,0 | 68,6 | 1,7 | 0,84 | 0,01 |
| | | 22 | 31,3 | 65,1 | 1,8 | 0,64 | 0,10 |
| | | 24 | 30,7 | 58,0 | 3,6 | 0,48 | 0,08 |
| | | 26 | 33,7 | 50,3 | 3,9 | 0,61 | 0,00 |
| 2º experimento | 50 | 0 | 24,9 | 79,9 | - | 1,56 | - |
| | | 2 | 31,5 | 79,5 | 0,2 | 1,13 | 0,22 |
| | | 4 | 31,3 | 75,8 | 1,9 | 0,95 | 0,09 |
| | | 6 | 31,0 | 75,3 | 0,3 | 1,01 | 0,00 |
| | | 8 | 32,4 | 72,5 | 1,4 | 1,08 | 0,00 |
| | | 10 | 35,3 | 69,2 | 1,7 | 0,92 | 0,08 |
| | | 12 | 40,0 | 57,3 | 6,0 | 0,91 | 0,01 |
| | | 14 | 43,8 | 41,6 | 7,9 | 0,80 | 0,06 |
| | | 16 | 42,8 | 22,0 | 9,8 | 0,62 | 0,09 |
| 3º experimento | 65 | 0 | 29,6 | 79,9 | - | 1,99 | - |
| | | 2 | 37,0 | 78,6 | 0,7 | 1,02 | 0,49 |
| | | 4 | 36,8 | 77,8 | 0,4 | 0,78 | 0,12 |
| | | 6 | 37,4 | 74,4 | 1,7 | 1,22 | 0,00 |
| | | 8 | 38,3 | 69,3 | 2,6 | 0,78 | 0,22 |
| | | 10 | 46,4 | 58,5 | 5,4 | 0,76 | 0,01 |
| | | 12 | 57,0 | 29,8 | 14,4 | 0,64 | 0,06 |
| | | 14 | 48,9 | 21,1 | 4,4 | 0,65 | 0,00 |
| 4º experimento | 80 | 0 | 27,7 | 79,9 | - | 1,99 | - |
| | | 2 | 39,5 | 77,0 | 1,5 | 1,11 | 0,44 |
| | | 4 | 44,2 | 67,5 | 4,8 | 0,78 | 0,17 |
| | | 6 | 66,0 | 40,9 | 13,3 | 0,66 | 0,06 |
| | | 8 | 76,0 | 7,7 | 16,6 | 0,48 | 0,09 |
| | | 10 | 65,2 | 80,3 | 4,4 | 0,40 | 0,04 |
| 5º experimento | 95 | 0 | 29,8 | 79,9 | - | 1,99 | - |
| | | 2 | 48,5 | 76,1 | 1,9 | 0,96 | 0,52 |
| | | 4 | 57,8 | 65,5 | 5,3 | 0,72 | 0,12 |
| | | 6 | 84,0 | 29,1 | 18,2 | 0,65 | 0,04 |
| | | 8 | 96,6 | 3,6 | 12,8 | 0,41 | 0,12 |
| 6º experimento | | 10 | 96,3 | 3,5 | 0,1 | 0,43 | 0,00 |

¹ - Porcentagem em base úmida;

² - Pontos percentuais por hora de secagem;

³ - Porcentagem em base seca.

A relação entre tempo de secagem e teores de água e de óleo essencial da camomila pode ser melhor visualizada por meio da construção de curvas de secagem, representadas por equações polinomiais, que estimam a tendência do comportamento (cinética) do processo de secagem ao submeter a camomila à diferentes temperaturas do ar.

No primeiro experimento, caracterizado pela utilização da temperatura de 35° C no ar de secagem, foi observado pouco acréscimo na taxa de secagem, pois 26 horas após o início da secagem a camomila ainda permanecia com teor de água acima de 50% (Tabela 1). Na Figura 2 é possível observar que a redução do teor de água da camomila foi lenta no início da secagem, aumentando moderadamente somente a partir de 12 horas, tornando-se óbvio a baixa taxa de secagem nesta temperatura do ar. Além disso, sob esta temperatura haveria necessidade de um período muito longo para secar a camomila até o teor de água adequado ao armazenamento e à comercialização, que de maneira empírica considera-se menor que 10%, mas podendo variar entre 8-12% (Ginieis, 1992). Como desvantagem, neste período há grande probabilidade de deterioração da camomila, predisposição ao desenvolvimento de fungos, além do elevado consumo de fontes de energia calórica e elevada demanda de mão-de-obra. Dessa forma, este experimento indica que, nas condições trabalhadas, a temperatura de 35° C foi insuficiente ao processo de secagem da camomila.

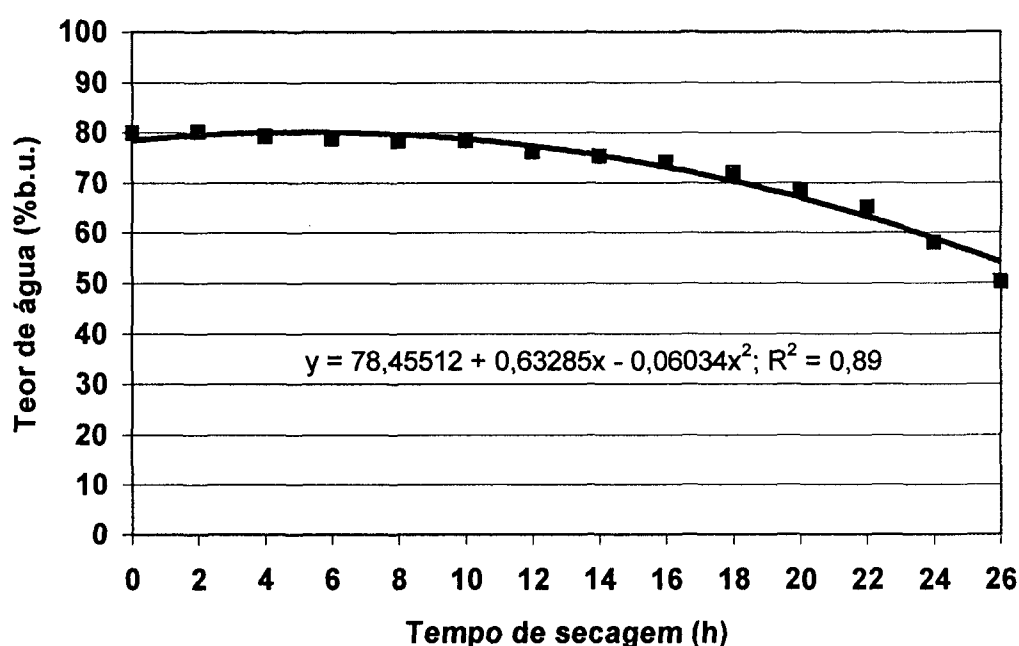


FIGURA 2 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 35° C. Curitiba, PR. 2000

Na Figura 3, quando foram relacionados o tempo de secagem e o teor de óleo da camomila, foi possível observar que ocorreu uma redução de até 50% do teor de óleo já em seis horas de secagem com posterior estagnação até 18 horas, seguido de mais uma redução até o término do período da secagem, finalizando com 0,6% de óleo essencial (Tabela 1). Além disso, conforme a tendência apresentada pela equação polinomial, a perda seria maior se continuasse a secagem até 10% de água.

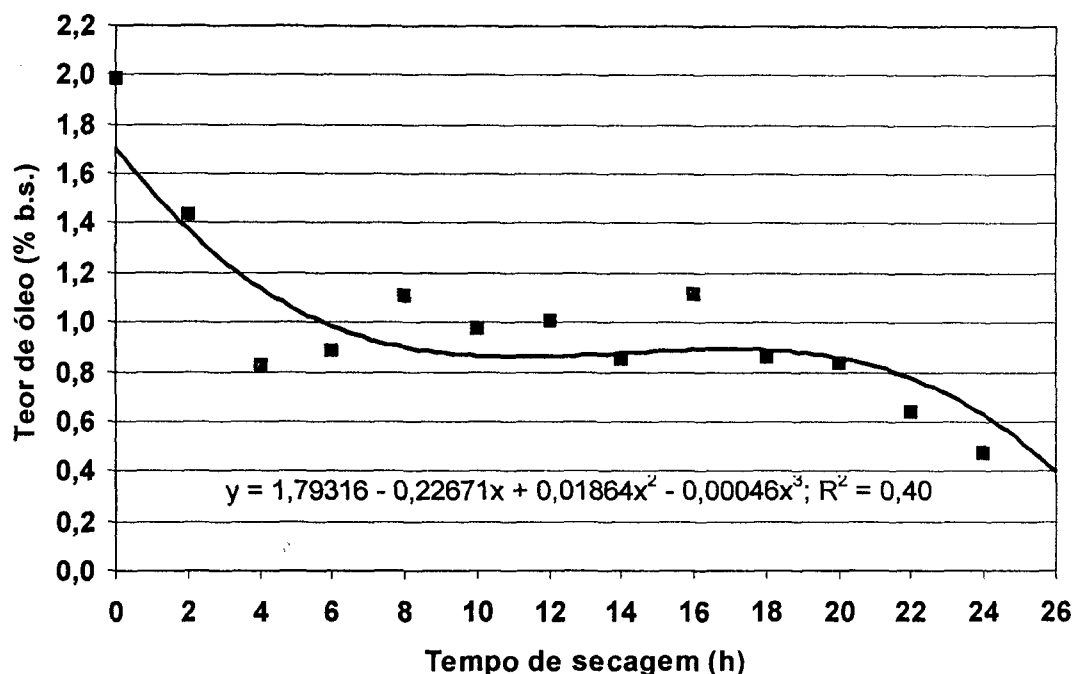


FIGURA 3 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 35° C. Curitiba, PR. 2000

A verificação do comportamento do teor de óleo essencial em relação ao tempo de secagem ratificou a inviabilidade do processo de secagem sob as condições estudadas neste experimento. A redução do teor de água da camomila foi insuficiente e a perda do teor de óleo essencial foi significativa, ao contrário do que vem sendo postulado por Corrêa Junior (1994) na secagem de camomila e por White (1985) e Oliveira (1995) na secagem de outras plantas medicinais.

Quando a camomila foi submetida à temperatura de 50° C, segundo experimento, após 16 horas de secagem ainda apresentava teor de água igual a 22% (Tabela 1). Na Figura 4, observa-se que neste experimento a redução do teor de água da camomila foi lenta até oito horas de secagem e depois deste período teve um acréscimo que persistiu até o término do período de secagem empregado. Ainda, a redução do teor de óleo essencial de 38% (Tabela 1) nas quatro primeiras horas de secagem e de 30% entre 10 e 16 horas, precedida por uma estagnação (Figura 5).

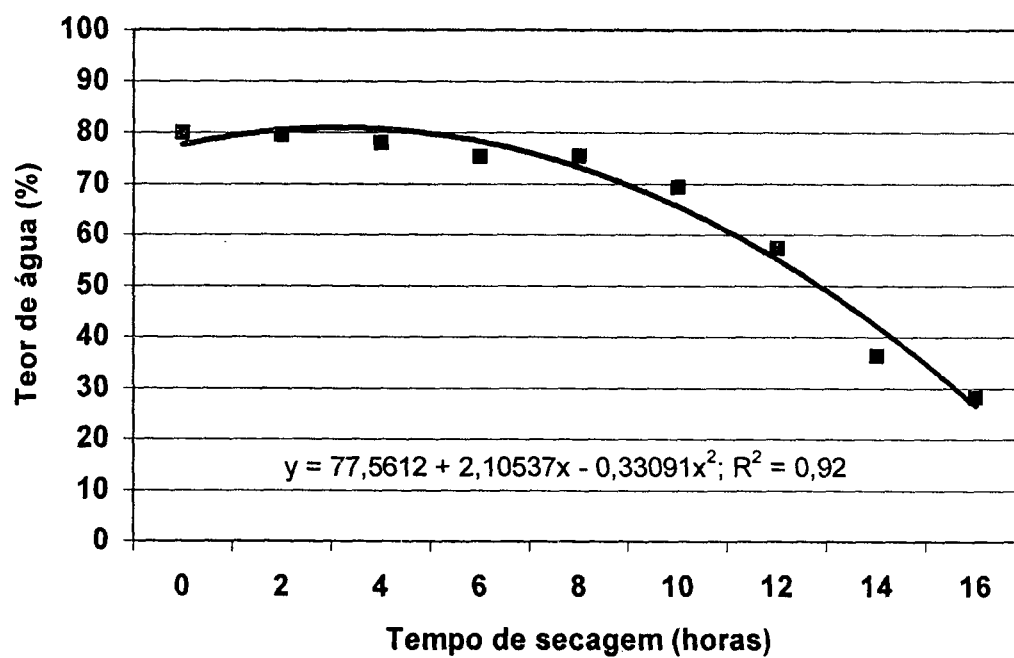


FIGURA 4 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 50° C. Curitiba, PR. 2000

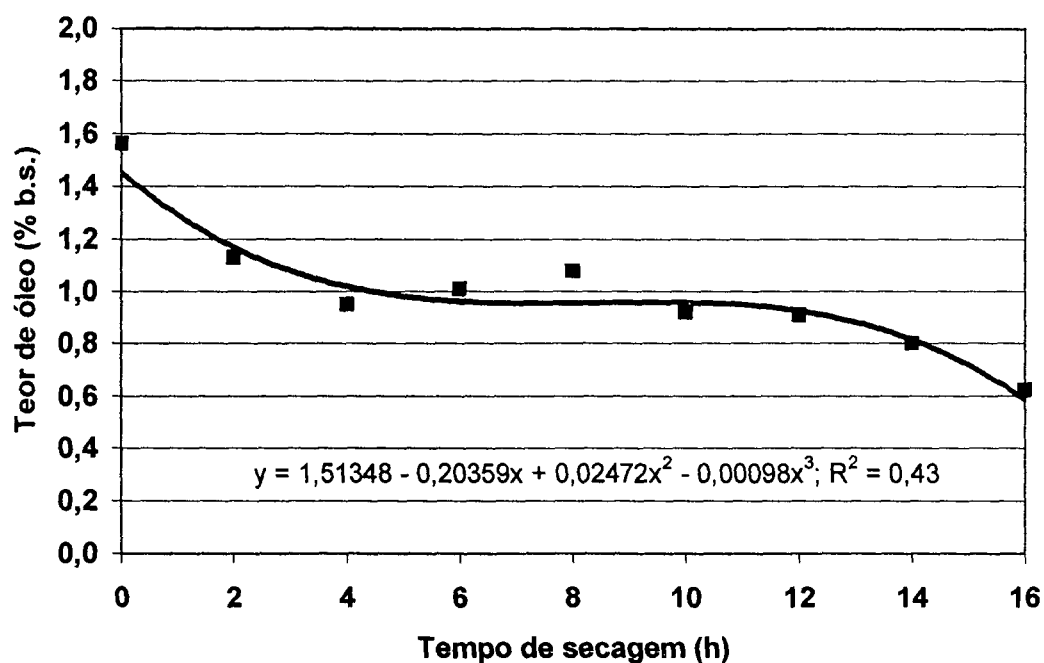


FIGURA 5 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 50° C. Curitiba, PR. 2000

Embora a taxa de secagem tenha sido superior ao primeiro experimento, a utilização destas condições pelos produtores de camomila também poderia propiciar um atraso na colheita bem como a predisposição da camomila às condições ótimas ao desenvolvimento de microrganismos, conforme relatos de Muñhoz (1993). Também, a perda de óleo essencial é um indicativo de que a utilização da temperatura de 50° C no ar de secagem pelos produtores de camomila pode comprometer a qualidade do produto final também em relação ao teor de óleo.

No terceiro experimento, após 14 horas de secagem à 65° C, a camomila ainda apresentava teor de água igual a 21,1% (Tabela 1). Na Figura 6 está representado o comportamento da redução do teor de água da camomila, que foi lenta até quatro horas de secagem e depois deste período teve um acréscimo que persistiu até o término do período de secagem utilizado.

A utilização destas condições permitiu maior taxa de secagem em relação aos dois experimentos anteriores, porém esta temperatura também predispõe a camomila às condições favoráveis para alterações físico-químicas, conforme relatado por Muñhoz (1993).

Ainda neste experimento, a redução do teor de óleo essencial foi superior a 65% (Tabela 1) já nas quatro primeiras horas de secagem, seguido por um período de estagnação e depois de dez horas de secagem voltou a perder óleo, mas de apenas 15 % até o término da secagem, contendo teor final de 0,65% (Figura 7).

Portanto, o comportamento dos teores de água e de óleo essencial é semelhante em relação aos experimentos anteriores, porém com tempo de secagem de apenas 14 horas, mesmo que este tenha sido insuficiente em relação ao teor de água, indicando uma perda de óleo ainda maior se a secagem prosseguisse até teor de água de 10%. A perda de óleo essencial ocorre de maneira semelhante, quer seja em termos de quantidade ou em termos de período de tempo ao longo do processo de secagem. Assim, independentemente das condições de secagem, a matéria-prima seca obtida contém baixo teor de óleo essencial em relação ao início da secagem, o qual é perdido em sua maior parte nas primeiras horas de secagem.

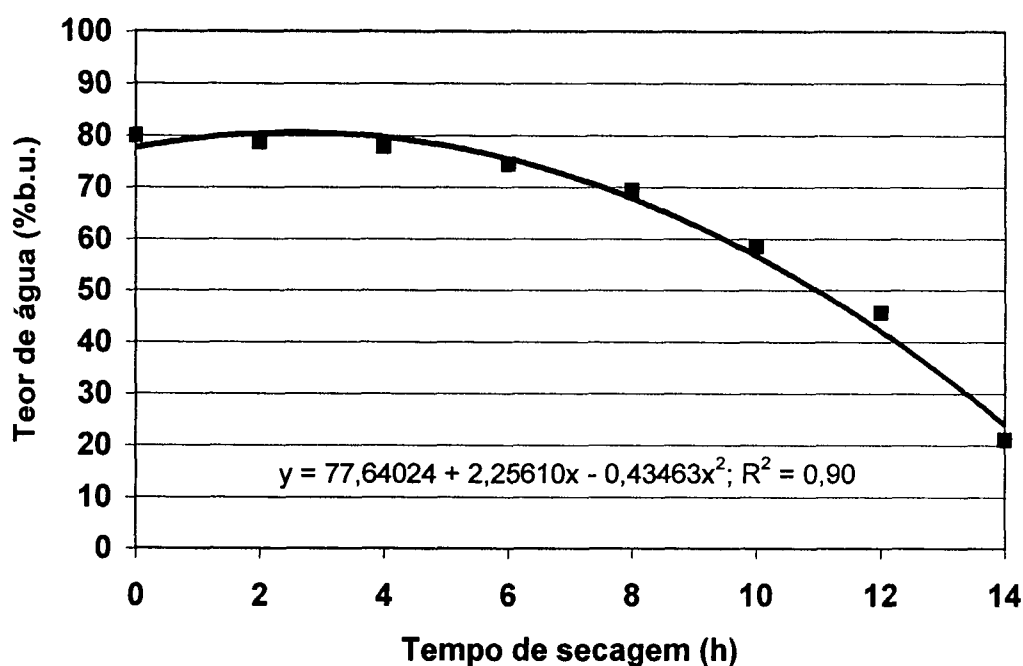


FIGURA 6 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 65° C. Curitiba, PR. 2000

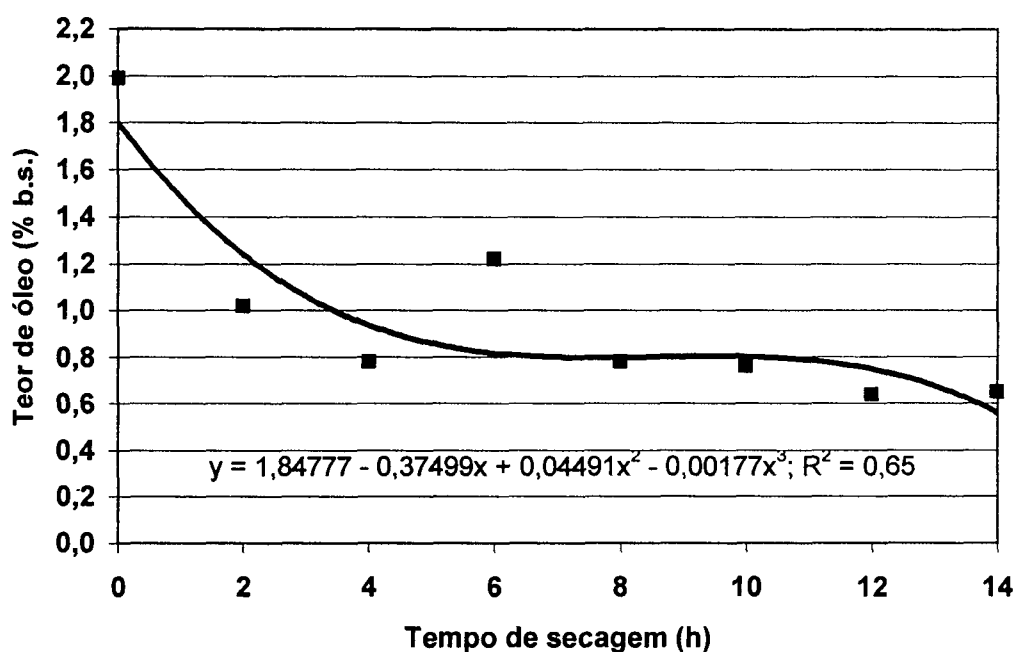


FIGURA 7 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 65° C. Curitiba, PR. 2000

Secando a camomila à 80° C, no quarto experimento, foi possível obter maior taxa de secagem em relação aos experimentos anteriores. A Figura 8, por meio de uma linha de tendência indica uma rápida redução do teor de água da camomila após a quarta hora de secagem, persistindo neste ritmo até a oitava hora, quando o teor de água da camomila foi

reduzido até 7,7%. Entretanto, a secagem foi interrompida após 10 horas, quando a camomila continha teor de água igual a 4,4% (Tabela 1). Com relação ao teor de óleo essencial, foram observadas reduções durante todo o processo de secagem, sendo maiores nas quatro primeiras horas (Figura 9). Nas duas primeiras horas de secagem a redução foi de 45% seguido por 30% entre duas e quatro horas (Tabela 1).

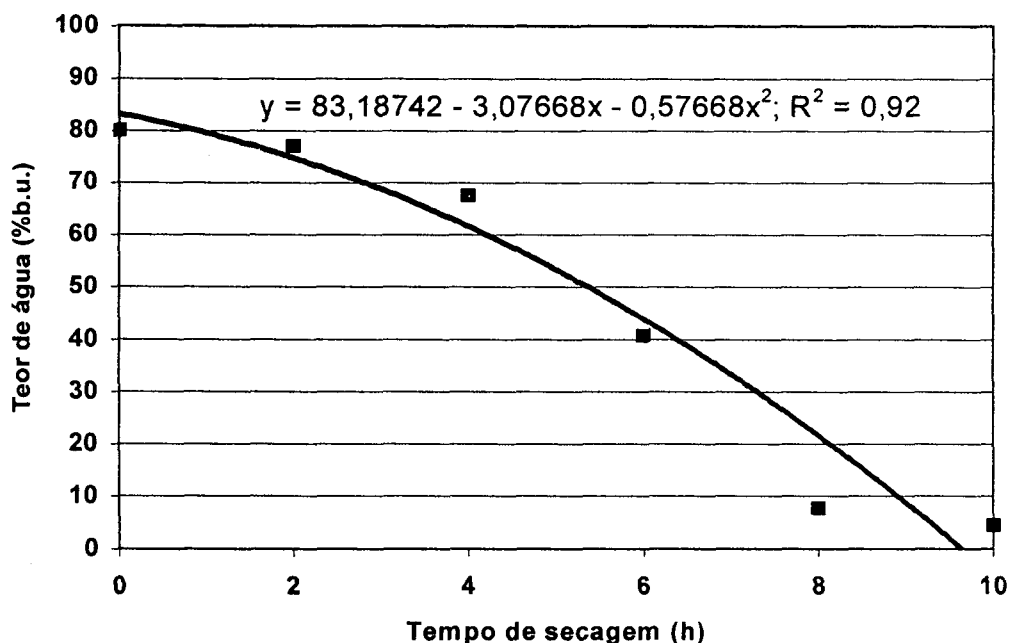


FIGURA 8 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 80° C. Curitiba, PR. 2000

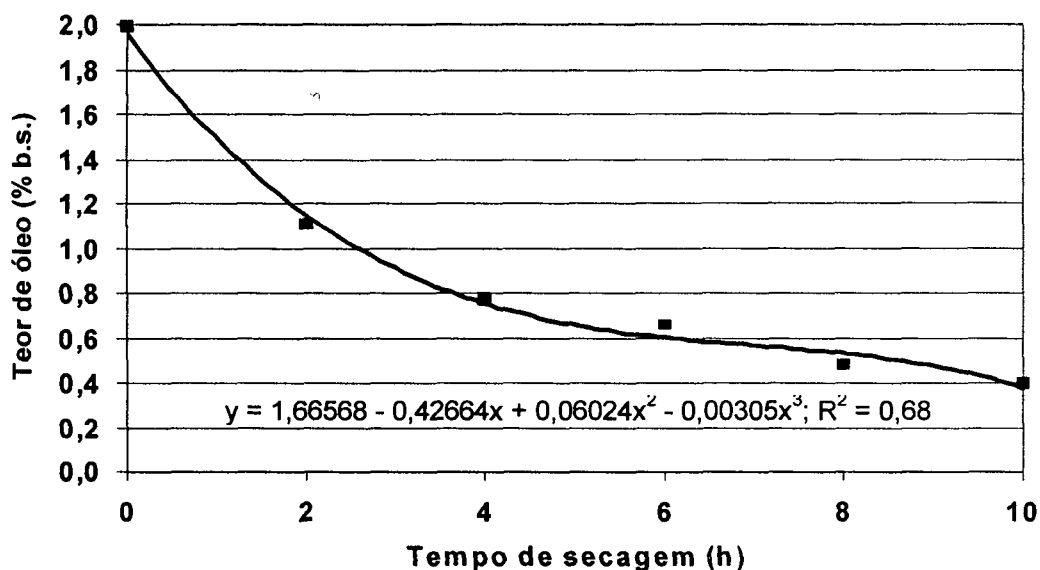


FIGURA 9 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 80° C. Curitiba, PR. 2000

No quinto experimento, secando a camomila à 95° C, obteve-se comportamento semelhante ao do quarto experimento, obtendo maior taxa de secagem entre todos os experimentos. Na Figura 10, a linha de tendência indica uma rápida redução do teor de água da camomila a partir da segunda hora de secagem, acentuando após a quarta hora e persistindo até a oitava hora. Este comportamento, provavelmente em função da elevada temperatura, propiciou que em oito horas de secagem a camomila já apresentasse 4% de água (Tabela 1). Porém, a secagem foi interrompida apenas após 10 horas de secagem.

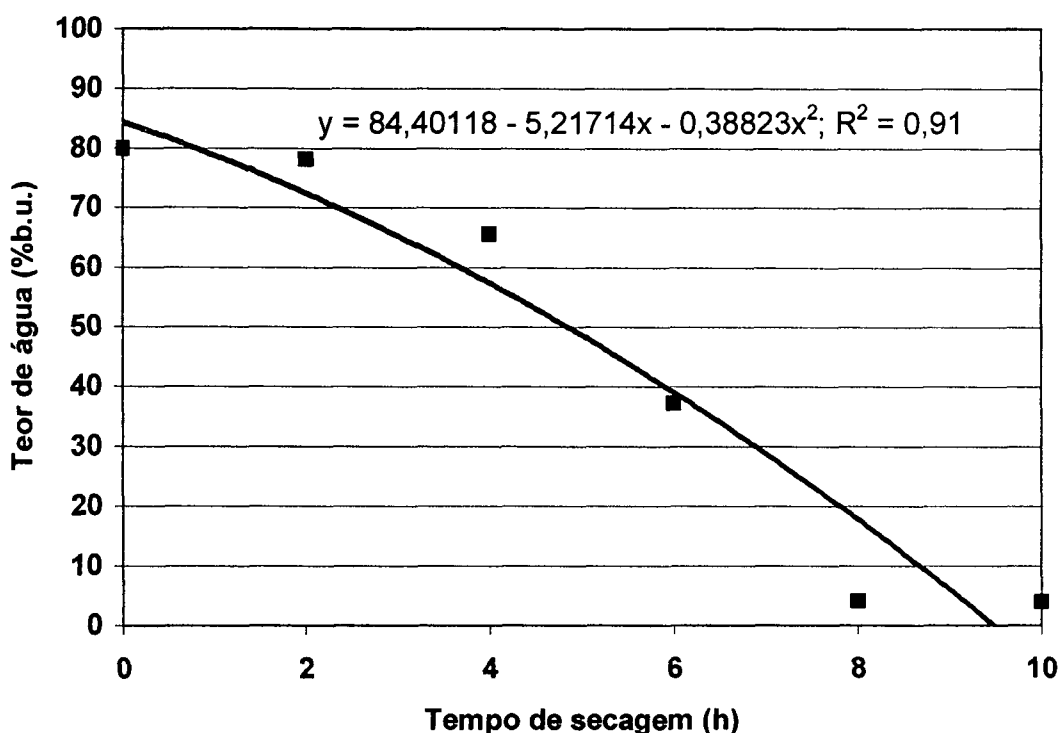


FIGURA 10 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à 95° C. Curitiba, PR. 2000

A secagem excessiva, bem como a secagem insuficiente, são difíceis de evitar porque ainda não se dispõe de equipamentos com adequada sensibilidade que determinem com precisão o teor de água real e instantâneo da matéria-prima em processo de secagem. Normalmente, este parâmetro é apenas estimado visualmente e por meio do tato, sem maiores definições.

Com relação ao teor de óleo essencial, foram observadas maiores reduções no início do processo de secagem, sendo que em duas horas de secagem foi detectada a perda de 52% (Tabela 1). Conforme a tendência apresentada na Figura 11, as reduções do teor de óleo entre a quarta e a sexta hora de secagem foram menores. Mas, a perda do óleo essencial no final do processo de secagem (6 horas) voltou a ser expressiva.

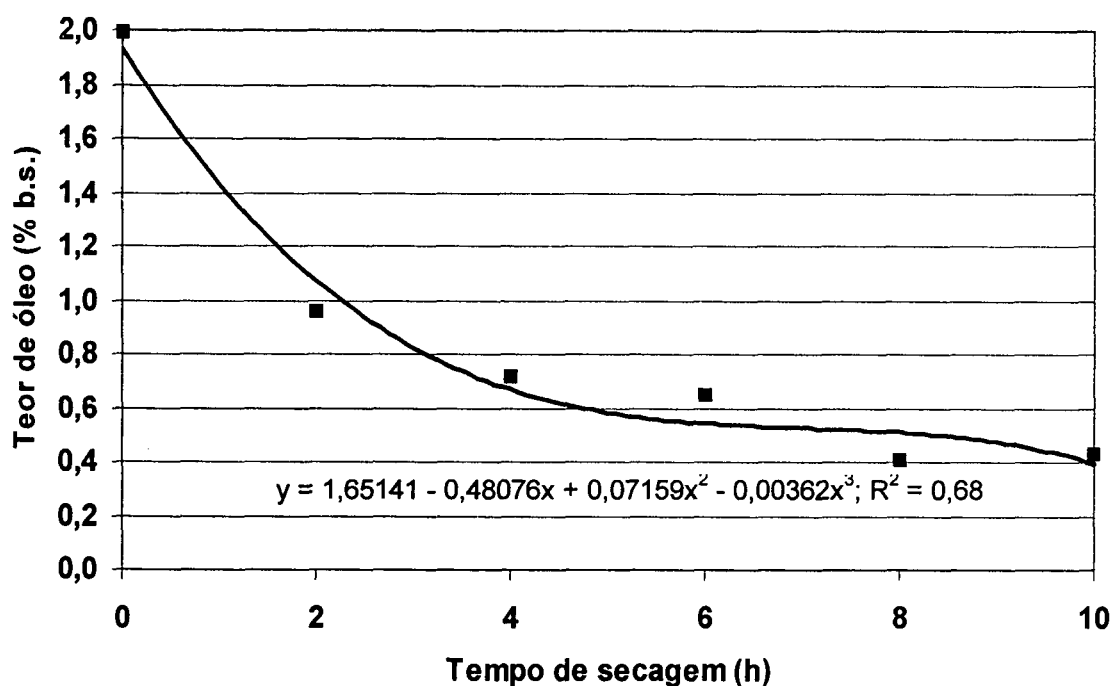


FIGURA 11 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à 95° C. Curitiba, PR. 2000

Outra observação interessante neste experimento refere-se a uma alteração na coloração dos capítulos florais no final do processo de secagem, assumindo uma coloração caramelo, que é indesejável comercialmente. Isto provavelmente tenha ocorrido em função da elevada temperatura atingida pela camomila já na sexta hora de secagem, quando seu teor de água também era elevado. Daí a importância de monitorar também a temperatura do material submetido às condições de secagem. Estas condições possivelmente propiciaram o rompimento das estruturas celulares constituintes da camomila e, conseqüentemente levando à morte e escurecimento, conforme relatos de Horn *et al.* (1998). Além disso, o efeito do tratamento térmico na hidrólise e/ou degradação de carboidratos pode ter levado ao escurecimento da camomila. Por analogia em relação à utilização de altas temperaturas de secagem que também podem alterar as propriedades físico-químicas das sementes causando, por exemplo, caramelização ou degradação de açúcares (Lasseran, 1982) e queda no rendimento de amido (Bras, 1982).

A construção de linhas de tendência por meio de equações polinomiais relacionando separadamente os teores de água e de óleo com o tempo de secagem permitiu a visualização do comportamento destes teores durante todo o processo de secagem. Neste sentido, grande interesse foi despertado com relação aos dois últimos experimentos que apresentaram maior destaque com relação à taxa de secagem, porém menores teores de óleo essencial em relação aos demais experimentos.

Porém, estes dois experimentos foram interrompidos quando a camomila já se encontrava com teor de água inferior a 5% enquanto nos demais experimentos alcançara níveis superiores a 20%. Então, acredita-se que se a interrupção da secagem ocorresse quando o teor de água fosse igual a 10%, os teores de óleo poderiam ser no mínimo equivalentes entre todos os experimentos.

Dessa maneira, para os dois últimos experimentos, por meio das equações polinomiais calculadas para o teor de água a partir dos dados coletados em cada experimento, fez-se a estimativa do tempo de secagem necessário para reduzir o teor de água da camomila até 10%, assumindo este teor de água como a mais adequada à garantia da qualidade durante o armazenamento e comercialização. Seguindo o mesmo raciocínio e procedimento, partindo do período de secagem estimado e utilizando as equações calculadas para o teor de óleo, fez-se a estimativa do teor de óleo essencial da camomila equivalente a 10% de água. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Estimativa do tempo de secagem e do teor de óleo essencial da camomila sob diferentes temperaturas do ar de secagem e vazão específica de 242 m³.min⁻¹.t⁻¹, até teor de água igual a 10%. Curitiba, PR. 2000

| Experimentos (° C) | Teor de água (%) | Tempo de secagem (h) ¹ | Teor de óleo essencial (% b.s.) ² |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|---|
| 80 | 10 | 8,91 | 0,49 |
| 95 | 10 | 8,67 | 0,51 |

¹ – Parâmetro estimado pela equação: $y = 83,18742 - 3,07668x - 0,57668x^2$ ($R^2 = 0,92$), no experimento à 80° C; e pela equação: $y = 84,40118 - 5,21714x - 0,38823x^2$ ($R^2 = 0,91$), no experimento à 95° C;

² – Parâmetro estimado pela equação: $y = 1,66568 - 0,42664x + 0,06024x^2 - 0,00305x^3$ ($R^2 = 0,68$), no experimento à 80° C; e pela equação: $y = 1,65141 - 0,48076x + 0,07159x^2 - 0,00362x^3$ ($R^2 = 0,68$), no experimento à 95° C.

Com este procedimento foi possível estimar que se a secagem fosse interrompida quando a camomila tivesse teor de água igual a 10%, numericamente menor seria o tempo de secagem e maior seria o teor final de óleo essencial com o aumento da temperatura do ar.

Portanto, a secagem da camomila à 80° C até 10% de água foi considerada a que mais se destacou entre os demais experimentos em relação ao tempo de secagem (8,9 horas) e, principalmente em relação ao teor final de óleo essencial (0,5%), – vide Tabela 2 – além de não ter proporcionado a alteração da coloração da camomila. Então, esta temperatura do ar foi considerada a mais indicada para seguir o estudo da secagem da camomila variando a vazão específica do ar, embora esta comparação não tenha sido feita estatisticamente.

4.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR

Os dados obtidos no processo de secagem da camomila, nesta segunda fase experimental, referentes à temperatura da camomila, temperatura do ar e teores de água e de óleo essencial da camomila, estão apresentados na Tabela 3.

Diferentemente da fase experimental anterior, estes experimentos foram realizados em datas diferentes da mesma safra da camomila o que justifica a diferença entre os valores dos parâmetros estimados no tempo zero de secagem. Entretanto, assim como na primeira fase experimental, torna-se evidente a relação existente entre a temperatura do ar, a temperatura da camomila e o teor de água da camomila nesta segunda fase. De um modo geral, em todos os experimentos, embora a temperatura do ar tenha sido mantida regularmente desde o início do processo, o aquecimento da camomila foi lento até a sexta hora de secagem, aumentando rapidamente até atingir níveis equivalentes à temperatura do ar de secagem (Tabela 3).

Todavia, nos dois últimos experimentos (160 e $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$), as temperaturas do ar e da camomila foram similares duas horas antes dos demais experimentos, que atingiram equivalência nas duas últimas horas do processo. Além disso, as maiores reduções do teor de água coincidiram, assim como na primeira fase, com o rápido aquecimento da camomila, a partir da oitava hora de secagem.

Nesta fase experimental não ocorreram alterações na coloração da camomila, mesmo expondo a matéria-prima a seis horas de secagem a mais em relação à fase experimental anterior, no experimento correspondente.

A relação entre tempo de secagem e teores de água e de óleo essencial da camomila pode ser melhor visualizada, assim como na primeira fase experimental, por meio de curvas representadas por equações polinomiais que, na seqüência, estimam a tendência do comportamento do processo de secagem ao submeter a camomila à diferentes vazões específicas do ar.

TABELA 3 - Médias dos dados obtidos no processo de secagem da camomila sob diferentes vazões específicas do ar e temperatura de 80° C. Curitiba, PR. 2001

| Experimentos (m ³ min ⁻¹ t ⁻¹) | Tempo de secagem (h) | Temperatura da camomila (° C) | Temperatura do ar de secagem (° C) | Teor de água na camomila | | Teor de óleo essencial | |
|---|----------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|--|---------------------------|--|
| | | | | (%b.u.) ¹ | perda (p.p.h ⁻¹) ² | (%b.s.) ³ | perda (p.p.h ⁻¹) ² |
| 1º experimento 10 | 0 | 24,0 | 21,7 | 83,0 | - | 1,32 | - |
| | 2 | 43,0 | 82,0 | 81,0 | 0,9 | 1,15 | 0,09 |
| | 4 | 41,0 | 82,3 | 78,0 | 1,3 | 0,92 | 0,12 |
| | 6 | 48,5 | 80,0 | 77,0 | 0,7 | 0,77 | 0,08 |
| | 8 | 49,0 | 81,0 | 72,0 | 2,3 | 0,84 | 0,00 |
| | 10 | 52,0 | 78,0 | 67,0 | 2,8 | 0,81 | 0,02 |
| | 12 | 69,0 | 82,0 | 59,0 | 4,1 | 0,66 | 0,08 |
| | 14 | 75,0 | 80,0 | 43,0 | 7,6 | 0,47 | 0,10 |
| | 16 | 81,0 | 81,0 | 20,0 | 11,8 | 0,35 | 0,06 |
| 2º experimento 60 | 0 | 24,0 | 21,7 | 83,8 | - | 2,00 | - |
| | 2 | 44,0 | 79,6 | 83,6 | 0,2 | 1,39 | 0,31 |
| | 4 | 44,0 | 80,5 | 80,9 | 2,7 | 1,10 | 0,15 |
| | 6 | 45,0 | 82,0 | 75,1 | 5,8 | 1,05 | 0,03 |
| | 8 | 57,0 | 78,0 | 59,3 | 15,8 | 0,78 | 0,14 |
| | 10 | 56,0 | 80,0 | 49,3 | 10,0 | 0,64 | 0,07 |
| | 12 | 61,0 | 80,9 | 36,3 | 13,0 | 0,55 | 0,05 |
| | 14 | 77,0 | 82,0 | 12,6 | 23,7 | 0,38 | 0,09 |
| | 16 | 75,0 | 78,0 | 9,1 | 3,5 | 0,36 | 0,01 |
| 3º experimento 110 | 0 | 27,0 | 21,7 | 76,6 | - | 1,20 | - |
| | 2 | 39,0 | 80,3 | 76,2 | 0,2 | 1,18 | 0,01 |
| | 4 | 39,0 | 78,0 | 74,9 | 0,7 | 0,92 | 0,13 |
| | 6 | 37,0 | 78,2 | 70,2 | 2,3 | 1,10 | 0,00 |
| | 8 | 41,0 | 82,0 | 58,5 | 5,9 | 0,84 | 0,13 |
| | 10 | 40,0 | 82,0 | 43,5 | 7,5 | 0,60 | 0,12 |
| | 12 | 62,0 | 81,0 | 25,6 | 9,0 | 0,48 | 0,06 |
| | 14 | 80,0 | 82,0 | 6,2 | 9,7 | 0,46 | 0,01 |
| | 16 | 78,0 | 78,0 | 4,0 | 1,1 | 0,27 | 0,10 |
| 4º experimento 160 | 0 | 27,5 | 21,7 | 79,5 | - | 1,10 | - |
| | 2 | 36,0 | 79,1 | 77,7 | 0,9 | 1,13 | 0,00 |
| | 4 | 42,0 | 78,0 | 74,5 | 1,6 | 0,95 | 0,09 |
| | 6 | 71,0 | 80,8 | 67,3 | 3,6 | 0,75 | 0,10 |
| | 8 | 77,0 | 80,0 | 56,3 | 5,5 | 0,76 | 0,00 |
| | 10 | 78,0 | 78,0 | 37,7 | 9,3 | 0,47 | 0,15 |
| | 12 | 82,0 | 82,0 | 23,4 | 7,2 | 0,48 | 0,00 |
| | 14 | 82,0 | 82,0 | 6,2 | 8,6 | 0,29 | 0,10 |
| 5º experimento 210 | 0 | 25,0 | 21,7 | 84,8 | - | 1,31 | - |
| | 2 | 36,0 | 79,0 | 82,9 | 0,9 | 1,17 | 0,07 |
| | 4 | 38,0 | 81,0 | 77,6 | 2,7 | 1,02 | 0,08 |
| | 6 | 35,0 | 78,0 | 48,7 | 14,5 | 1,05 | 0,00 |
| | 8 | 73,0 | 79,0 | 22,4 | 13,1 | 0,30 | 0,38 |
| | 10 | 78,0 | 78,0 | 4,5 | 9,0 | 0,31 | 0,00 |
| | 12 | 82,0 | 82,0 | 3,6 | 0,4 | 0,37 | 0,00 |
| | 14 | 82,0 | 82,0 | 3,5 | 0,1 | 0,23 | 0,07 |

¹ - Porcentagem em base úmida;

² - Pontos percentuais por hora de secagem;

³ - Porcentagem em base seca.

No primeiro experimento, caracterizado pela vazão específica de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, a redução do teor de água da camomila começou de forma lenta e a partir de oito horas de secagem foi observada uma redução mais acentuada (Figura 12), quando também foi constatado aumento expressivo da temperatura da camomila. Porém, a taxa de secagem foi baixa, pois mesmo após 16 horas a secagem a camomila ainda permaneceu com teor de água igual a 20% (Tabela 3), conforme a tendência apresentada na Figura 12.

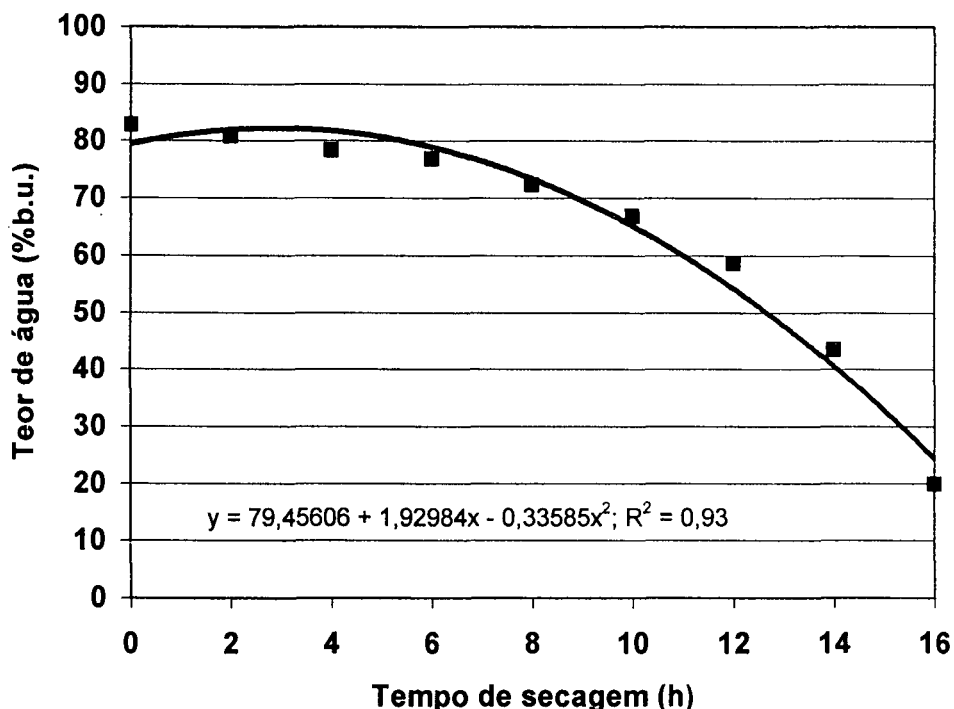


FIGURA 12 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

Semelhança de comportamento em relação à primeira fase experimental também foi observada com relação ao teor de óleo essencial da camomila. Na Figura 13, é possível observar que sua redução ao longo da secagem é levemente mais acentuada nas primeiras seis horas. Mesmo a secagem sendo interrompida quando a camomila ainda estava com 20% de água, o teor de óleo foi reduzido em 76% de seu nível inicial, finalizando a secagem com 0,35% (Tabela 3). Assim, ao prolongar a secagem até 10% de teor de água, provavelmente a perda de óleo essencial seria ainda maior.

Ao utilizar a vazão específica de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, obteve-se comportamento semelhante ao experimento anterior, pois a redução do teor de água da camomila passou a ser mais acentuada também a partir da oitava hora de secagem (Figura 14). Obteve-se

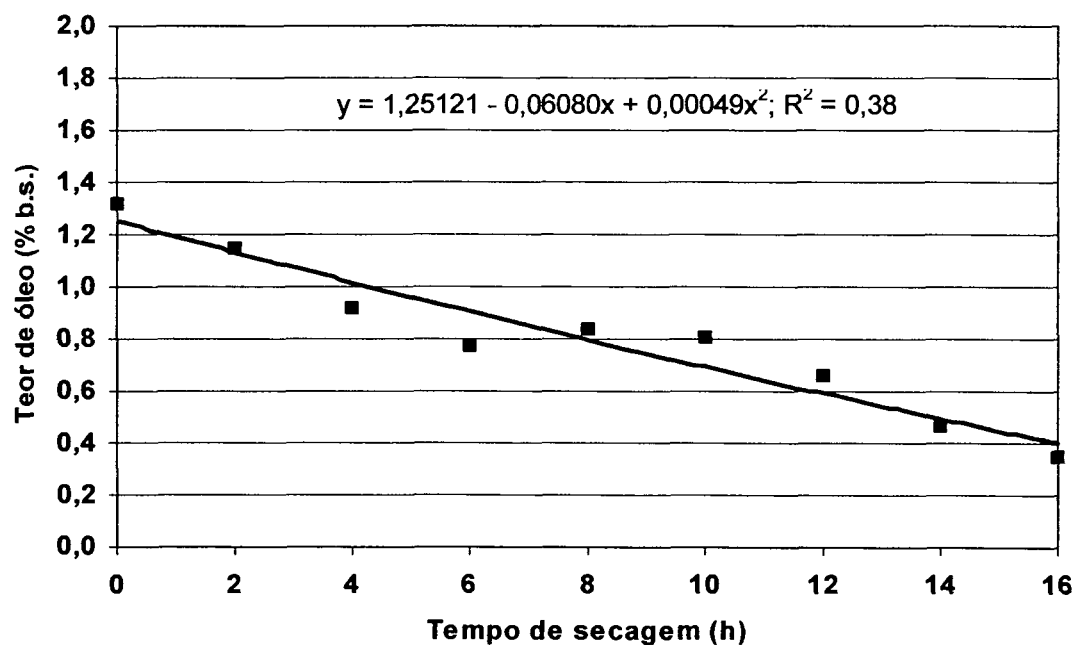


FIGURA 13 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

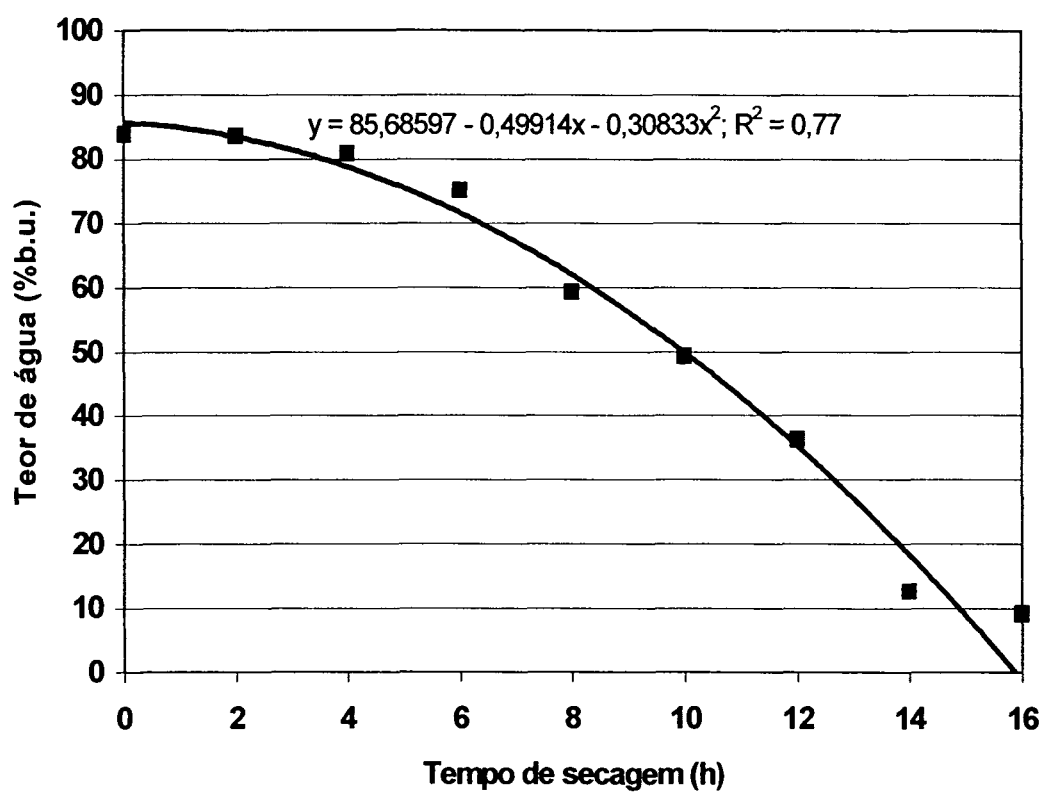


FIGURA 14 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

maior taxa de secagem em relação ao experimento anterior, uma vez que após 16 horas de secagem o teor de água da camomila foi de 9,1% (Tabela 3).

Para o teor de óleo essencial, diferentemente do experimento anterior, uma redução mais acentuada foi observada já a partir de duas horas de secagem (Figura 15) chegando, no final do processo, a 71% de seu nível inicial. Ao término das 16 horas de secagem o teor de óleo essencial foi de 0,36% (Tabela 3).

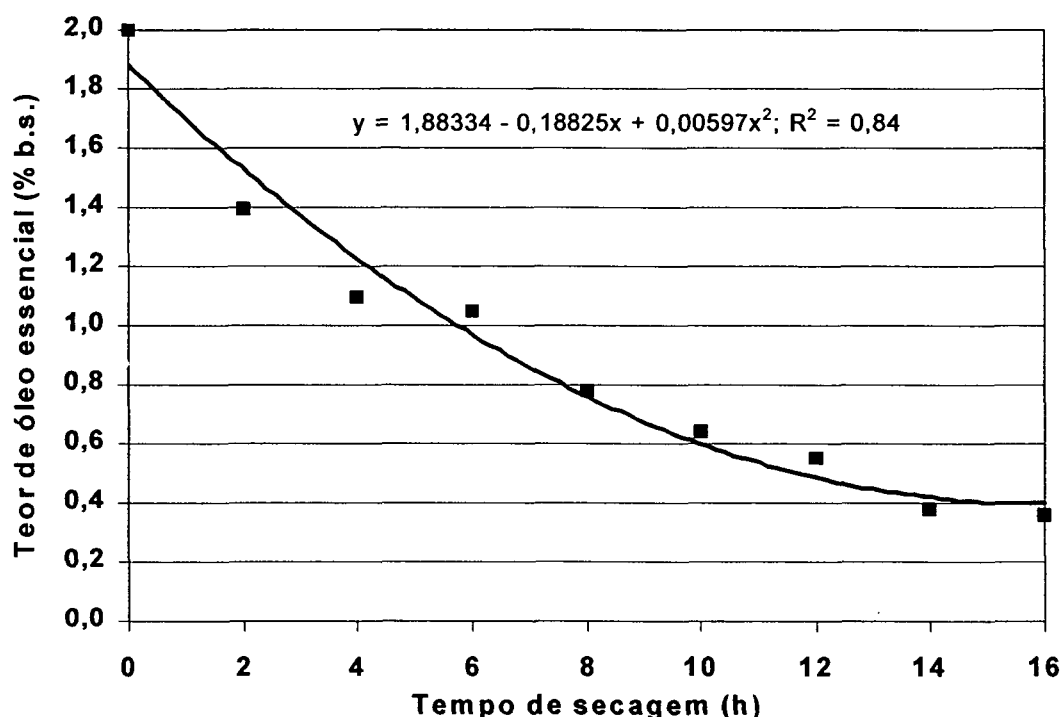


FIGURA 15 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

No terceiro experimento, secagem à $110 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, embora o teor de água inicial tenha sido inferior aos demais experimentos, a redução do teor de água da camomila também foi lenta no início e somente a partir de oito horas de secagem foi observada uma queda mais acentuada (Figura 16). Neste experimento a camomila continha teor de água igual a 4,0% (Tabela 3), após 16 horas, quando a secagem foi interrompida. Conforme a linha de tendência apresentada, 14 horas de secagem já seria suficiente para que a camomila atingisse o teor de água adequado, em torno de 10%.

Em relação ao teor de óleo essencial, de um modo geral, foi observada sua redução constante durante todo o processo de secagem, exceto no período de seis horas em que ocorreu um ponto fora do comportamento em que o processo vinha se mantendo (Figura 17). Ao término das 16 horas de secagem, o teor de óleo essencial foi de 0,27% (Tabela 3), chegando a uma perda de 77% de seu nível inicial. Porém, logo após 14 horas, quando o

teor de água já estava em nível adequado, seu teor foi de 0,46%, indicando mais uma vez o efeito da secagem excessiva no teor de óleo da camomila.

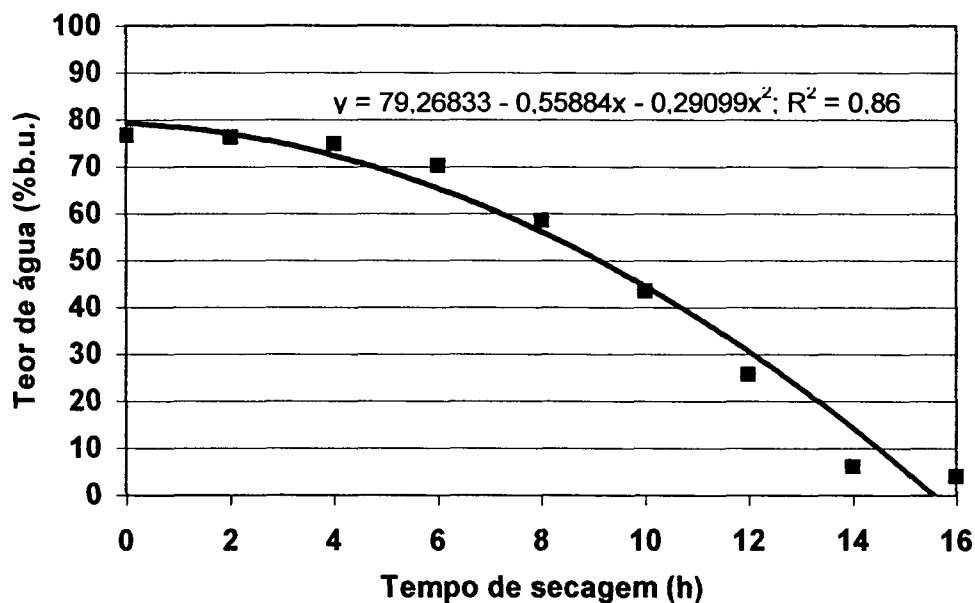


FIGURA 16 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $110 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

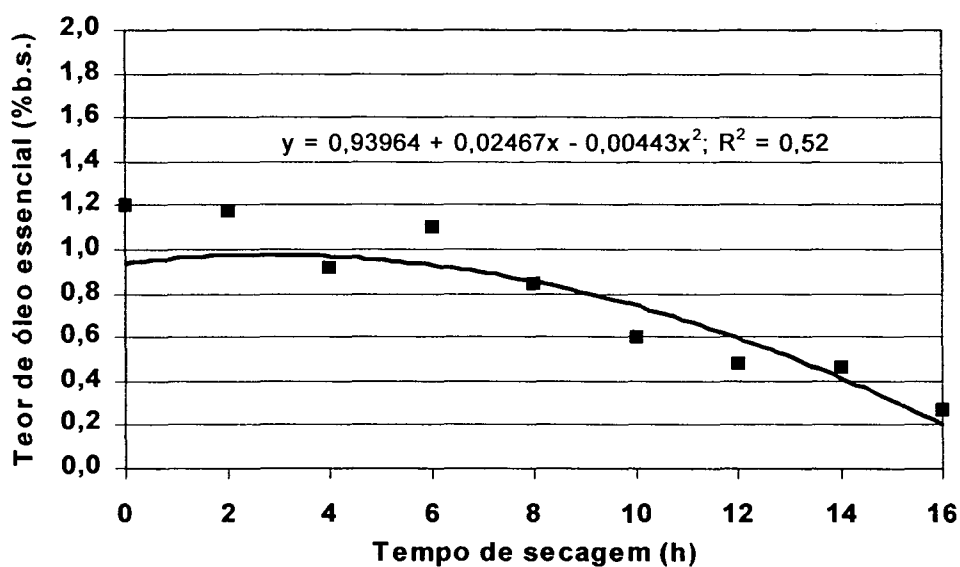


FIGURA 17 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $110 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

No quarto experimento, secando a camomila sob $160 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, o teor de água foi reduzido de maneira lenta no início e mais acentuada a partir da oitava hora do processo de secagem (Figura 18), assim como ocorreu nos experimentos anteriores. Após 14 horas, a secagem foi interrompida e a camomila continha 6,2% de água (Tabela 3), indicando maior taxa de secagem em relação aos experimentos anteriores.

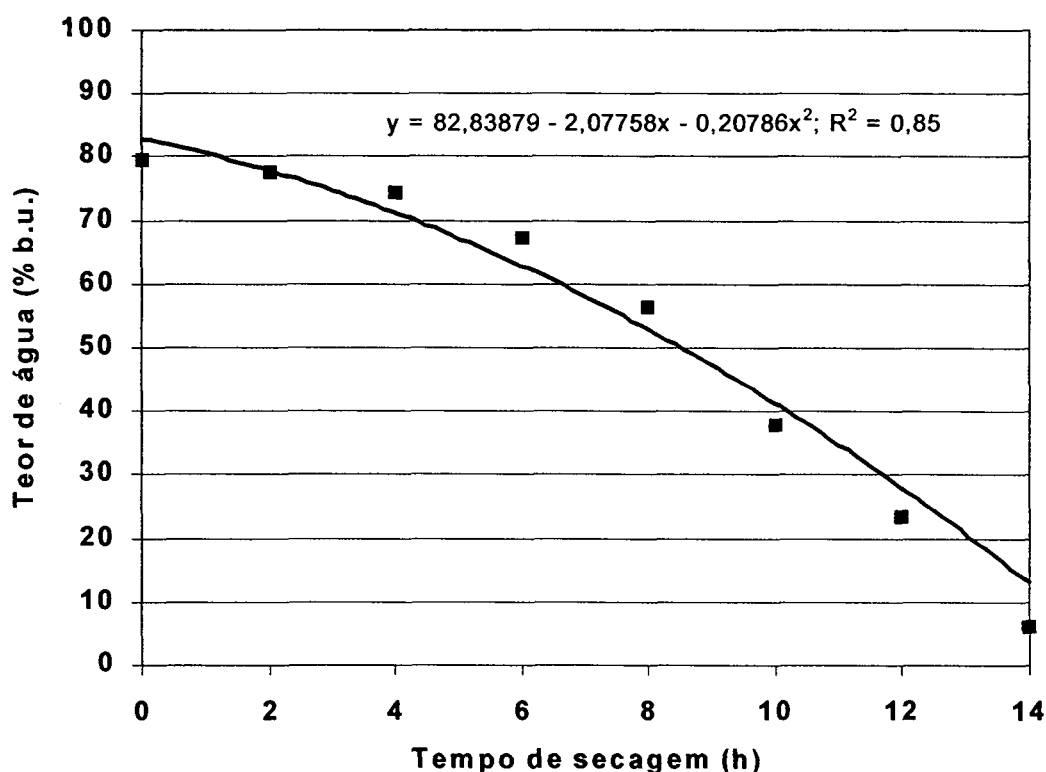


FIGURA 18 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $160 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

A redução do teor de óleo essencial ocorreu desde o início do processo de secagem, tornando-se mais acentuada entre quatro e seis horas (Figura 19) e também depois da oitava hora. Entre zero e oito horas de secagem ocorreu uma redução de 68% do teor de óleo da camomila e, deste período até o término da secagem, a redução foi de 22%, permanecendo com teor final de óleo essencial igual a 0,29% (Tabela 3).

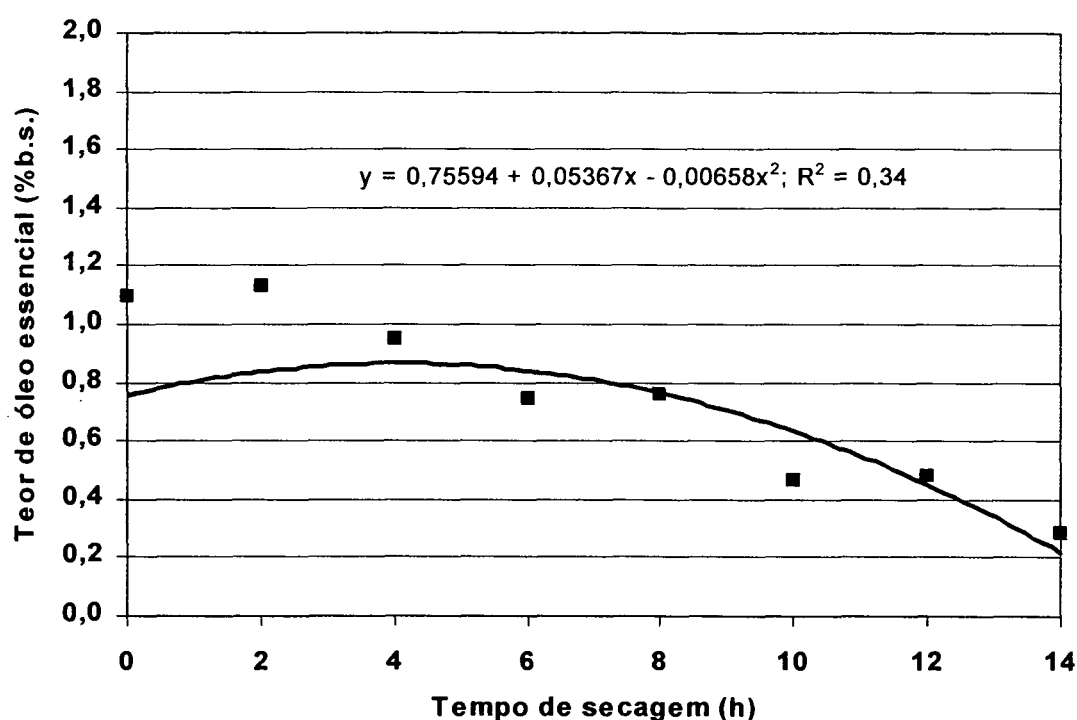


FIGURA 19 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $160 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

O quinto experimento, caracterizado pela vazão específica de $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, também teve comportamento semelhante aos experimentos anteriores, em que no início da secagem com redução lenta do teor de água. Porém, neste experimento foi observado que já a partir da sexta hora de secagem ocorreu queda mais acentuada do teor de água e que a camomila atingiu teor de água inferior a 10% em apenas 10 horas de secagem, ou seja, seis horas antes em relação àqueles experimentos (Figura 20). A maior taxa de secagem em relação aos demais experimentos, foi responsável por reduzir o teor final de água na camomila a 3,5%, em 14 horas de secagem (Tabela 3).

O teor de óleo essencial também foi reduzido durante todo o processo de secagem, mas uma queda mais acentuada foi observada entre seis e oito horas de secagem (Figura 21), mantendo-se então abaixo de 0,4%. A secagem extremamente excessiva propiciou a redução do teor de óleo da camomila em 82% de seu nível inicial, permanecendo com 0,23% ao término da secagem, em 14 horas (Tabela 3).

Assim como na primeira fase experimental, a construção das linhas de tendências por meio de equações polinomiais relacionando separadamente os teores de água e óleo com o tempo de secagem permitiu a visualização do comportamento destes teores durante todo o processo de secagem.

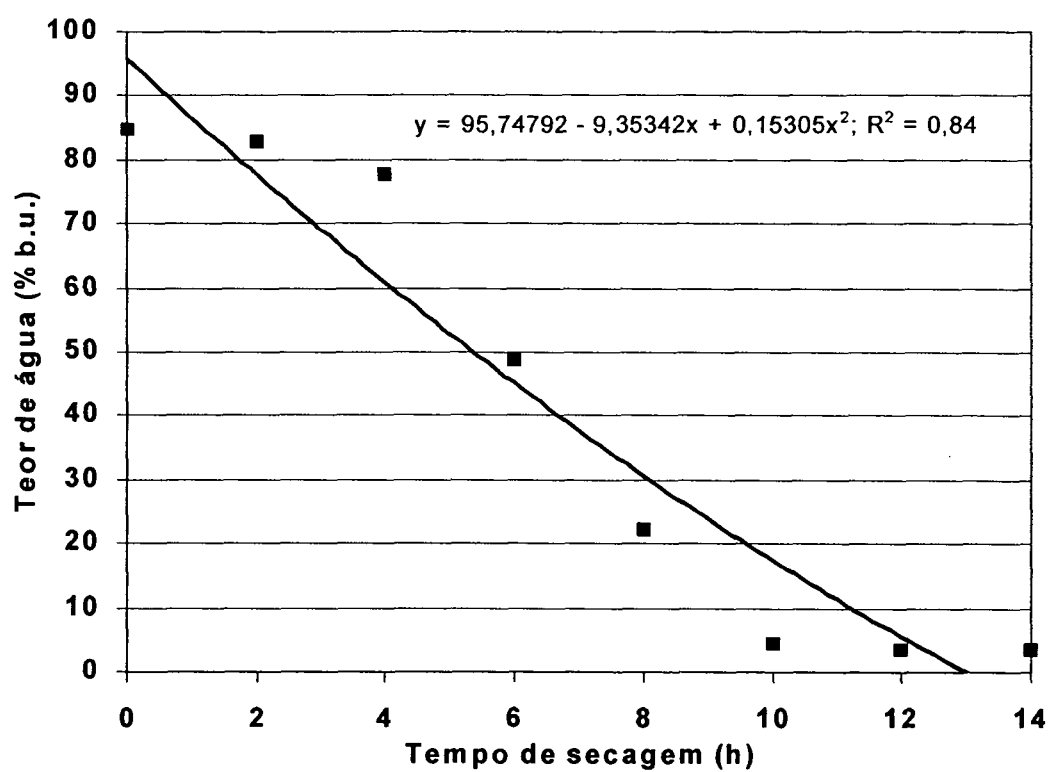


FIGURA 20 – Linha de tendência relacionando o teor de água e o tempo de secagem da camomila à $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

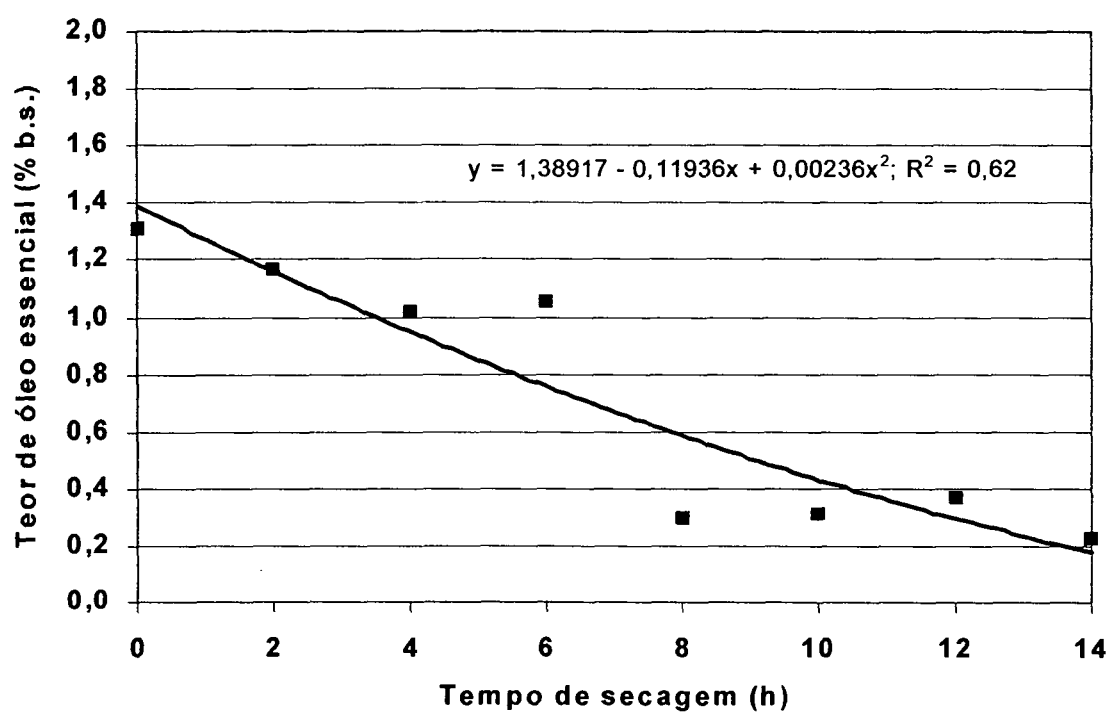


FIGURA 21 – Linha de tendência relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem da camomila à $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Curitiba, PR. 2001

Portanto, os três últimos experimentos, de maior destaque com relação à taxa de secagem, apresentaram menores teores de óleo essencial em relação aos dois primeiros experimentos. Todavia, estes três últimos experimentos foram interrompidos quando a camomila já se encontrava com teor de água inferior a 6%, o que indica uma secagem excessiva em relação aos dois outros experimentos. Então, acredita-se também que se a interrupção da secagem ocorresse quando o teor de água da camomila fosse igual a 10%, os teores de óleo poderiam ser no mínimo equivalentes entre todos os experimentos.

Dessa maneira, assim como efetuado na primeira fase experimental, por meio das equações polinomiais calculadas para o teor de água a partir dos dados coletados em cada experimento, fez-se a estimativa do tempo de secagem necessário para reduzir o teor de água da camomila até 10%, independentemente da vazão específica do ar. Seguindo o mesmo raciocínio e procedimento, partindo do período de secagem estimado fez-se a estimativa do teor de óleo essencial da camomila equivalente a 10% de teor de água. Os resultados estão apresentados na Tabela 4, que contempla ao mesmo tempo a relação entre a vazão específica do ar utilizada com o teor final de óleo essencial e com o tempo de secagem correspondente ao teor de água de 10%.

TABELA 4 - Estimativa do tempo de secagem e do teor de óleo essencial da camomila sob diferentes vazões específicas do ar de secagem e temperatura de 80° C, até teor de água igual a 10%. Curitiba, PR. 2001

| Experimentos (m ³ .min ⁻¹ .t ⁻¹) | Teor de água (%) | Tempo de secagem (h) ¹ | Teor de óleo essencial (% b.s.) ² |
|---|---------------------|--------------------------------------|---|
| 110 | 10 | 14,5 | 0,36 |
| 160 | 10 | 14,3 | 0,16 |
| 210 | 10 | 11,2 | 0,36 |

¹ – Parâmetro estimado pela equação: $y = 79,26833 - 0,55884x - 0,29099x^2$ ($R^2 = 0,86$), no experimento à 110 m³.min⁻¹.t⁻¹; pela equação: $y = 82,83879 - 2,07758x - 0,20786x^2$ ($R^2 = 0,85$), no experimento à 160 m³.min⁻¹.t⁻¹; e pela equação: $y = 95,74792 - 9,35342x + 0,15305x^2$ ($R^2 = 0,84$), no experimento à 210 m³.min⁻¹.t⁻¹.

² – Parâmetro estimado pela equação: $y = 0,93964 + 0,02467x - 0,00443x^2$ ($R^2 = 0,52$), no experimento à 110 m³.min⁻¹.t⁻¹; pela equação: $y = 0,75594 + 0,05367x - 0,00658x^2$ ($R^2 = 0,34$), no experimento à 160 m³.min⁻¹.t⁻¹; e pela equação: $y = 1,38917 - 0,11936x + 0,00236x^2$ ($R^2 = 0,62$), no experimento à 210 m³.min⁻¹.t⁻¹.

Com este procedimento foi possível observar que se a secagem fosse interrompida quando a camomila tivesse teor de água igual a 10%, o tempo de secagem seria equivalente para os experimentos três e quatro (14 horas). Já no quinto experimento, o tempo de secagem seria três horas a menos, o que indica uma taxa de secagem superior aos demais experimentos, em relação à perda do teor de água na camomila (Tabela 4).

Referente ao óleo essencial, também na Tabela 4 é possível observar que os maiores teores finais seriam obtidos nos experimentos três e cinco (0,36%), secando a camomila até teor de água igual a 10%. Porém, no experimento quatro, o teor de óleo essencial foi de 0,16%, embora o tempo de secagem tenha sido semelhante ao experimento três. Assim, esta estimativa mostra que os experimentos três e cinco apresentaram maior destaque entre os demais, em relação ao teor final de óleo essencial, secando a camomila até 10% de água.

Portanto, a secagem da camomila a $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ se destacou entre os demais experimentos pelo menor tempo de secagem e, principalmente, pelo maior teor de óleo essencial ao final do processo, quando a camomila continha teor de água em torno de 10%. Estas condições certamente asseguram a adequada conservação no armazenamento da matéria-prima. Além disso, o teor de óleo essencial foi equivalente ao mínimo previsto pela Farmacopéia Brasileira (1996).

5 DICUSSÃO GERAL

Numa análise geral, foram abordados os resultados obtidos neste estudo, por meio de um inter-relacionamento, quando pertinente, objetivando entender e explicar os fatos observados e, conseqüentemente contribuir aos interessados, principalmente os produtores de camomila, na problemática do seu cotidiano.

Além de escassas, as informações disponíveis em relação ao processo de secagem da camomila são genéricas e insuficientes à necessidade de conhecimento científico aplicado aos produtores desta espécie na região de Mandirituba. Não obstante, os mesmos têm utilizado equipamentos anteriormente empregados para a secagem de espécies não medicinais, pois na condição de agricultores de baixa renda, eles têm limitações para investimentos em infra-estrutura. Acredita-se que com algumas adaptações nestes equipamentos como, por exemplo, dispositivos para controle da temperatura e velocidade do ar de secagem, as propriedades originais do produto poderiam ser mantidas ou menos alteradas, conferindo maior valor comercial sem onerar ainda mais o custo do processo produtivo da camomila.

Neste sentido, as condições de secagem têm sido motivos de diversos estudos em grãos e sementes de espécies não medicinais, cujo conhecimento básico-teórico pode subsidiar o entendimento do processo de secagem de espécies medicinais e aromáticas e, conseqüentemente da camomila.

Em relação à camomila, geralmente logo após a colheita do material, a secagem é iniciada colocando-se em camadas pouco espessas e não compactadas para permitir a passagem do ar. Este processo pode ser representado por curvas a partir da taxa de secagem, que é resultante da relação entre o teor de água extraído e o tempo. Esta é função do material a ser secado (teor de água, constituição, acondicionamento prévio, disposição no secador) e, principalmente das condições do ar de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). Em outras palavras, é função da diferença de pressão de vapor entre o ar e o material a ser secado, ou ainda de gradientes no potencial da água (Salisbury e Ross, 1992; Taiz e Zeiger, 1998; Doria e Andrés, 1998). Em geral, a secagem é mais eficiente em condições de maior temperatura, maior velocidade do ar e menor umidade relativa do ar (Horn *et al.*, 1998).

Assim, referente ao processamento pós-colheita, poucas informações seguras se tem sobre a camomila, bem como para a maioria das espécies aromáticas e medicinais. Em

conseqüência, cientificamente é grande a demanda por um conhecimento mais amplo das técnicas de secagem, das metodologias e equipamentos disponíveis assim como das características físicas, químicas e biológicas dos materiais para melhorar a produção, a qualidade e a comercialização das espécies aromáticas e medicinais.

Dessa forma, acredita-se que alguns dos fatos ocorridos na secagem da camomila podem ser entendidos a partir de uma analogia em relação à tecnologia de secagem de sementes de espécies não medicinais. Porém, considerando as diferenças morfo-anatômicas existentes entre estas espécies bem como das partes da planta a serem submetidas ao processo de secagem, uma vez que este estudo refere-se a inflorescências em forma de capítulo.

A comparação estatística entre os experimentos bem como entre as duas fases experimentais não foi possível devido a necessidade da execução das atividades em datas diferentes, juntamente com dificuldades operacionais, que resultaram na alteração do planejamento estatístico deste estudo, justamente na transição da primeira para a segunda fase experimental. Assim, as repetições passaram a ser realizadas na mesma data enquanto que os experimentos em datas diferentes. Todos os experimentos foram analisados estatisticamente de maneira individual e, então, as comparações entre os mesmos, bem como entre as duas fases experimentais, foram efetuadas numericamente, porém sem o auxílio da estatística.

O estudo da cinética de secagem permite estimar as variáveis dependentes envolvidas no processo, que neste caso são os teores de água e de óleo essencial da camomila, considerados dependentes da temperatura e vazão específica do ar, identificadas como um processo que se possa entendê-lo como um todo e identificar seus possíveis pontos importantes. A partir do monitoramento dessas variáveis torna-se possível analisar os dados e expressar os resultados de maneira a facilitar a visualização e a compreensão do comportamento dos teores de água e de óleo essencial da camomila, bem como os momentos e proporções em que ocorrem ao longo do processo de secagem. A partir disso, a extrapolação de resultados pode lobrigar outras condições de secagem mais adequadas. Na seqüência, diversos fatos observados neste estudo foram discutidos e inter-relacionados.

5.1 SECAGEM SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

Na primeira fase experimental, foram utilizadas condições de secagem provenientes primeiramente de uma busca na escassa literatura sobre secagem de plantas medicinais e aromáticas, onde ficou constatada a existência de informações generalizadas ou

insuficientes, predominando um paradigma construído sem base científica. Depois, foi considerado o procedimento de secagem adotado pela maioria dos produtores de camomila, na Região de Mandirituba, após anos de empirismo. Dessa forma, foram escolhidas as temperaturas de 35 e 95° C como referenciais extremos e, então foram estabelecidas as temperaturas intermediárias em intervalos regulares.

Já para a vazão específica do ar, a escolha ficou limitada às condições impostas pelo protótipo de secagem utilizado, cuja vazão mínima conseguida para as cinco subunidades foi de $242 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$. Este valor é considerado muito próximo ao utilizado pelos agricultores, bem como suficiente para superar a resistência oferecida pela camomila acondicionada na bandeja. Foi adotado sem maiores preocupações, uma vez que nesta fase foram testadas apenas diferentes temperaturas do ar de secagem.

Por analogia à literatura da tecnologia de secagem em sementes, há forte indicativo de que a movimentação de moléculas de água de dentro para fora da camomila, estimulada pela energia térmica do ar circundante, proporciona aquecimento e, conseqüentemente, redução do teor de água.

Quando foram utilizadas maiores temperaturas no ar de secagem da camomila, mais acentuada foi a redução do teor de água (Figura 22 e Tabela 1), como esperado. A temperatura da camomila também é elevada, tendendo a equivaler à temperatura do ar de secagem. Porém, esta equivalência tende a ocorrer nos momentos finais do processo e em temperaturas mais elevadas. Daí a importância de um monitoramento concomitante destas temperaturas para que a cinética de secagem da camomila seja compreendida e, inclusive servir como um indicativo do momento final do processo.

Neste sentido, a energia térmica que possibilita o movimento de uma molécula de água ao longo de um gradiente de concentração é função essencialmente da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, função da temperatura do ar (Carvalho, 1994). O aumento da temperatura do ar proporciona um gradiente de pressão no sentido da lâmina d'água (ou camomila) para o ar, mantendo o processo de secagem.

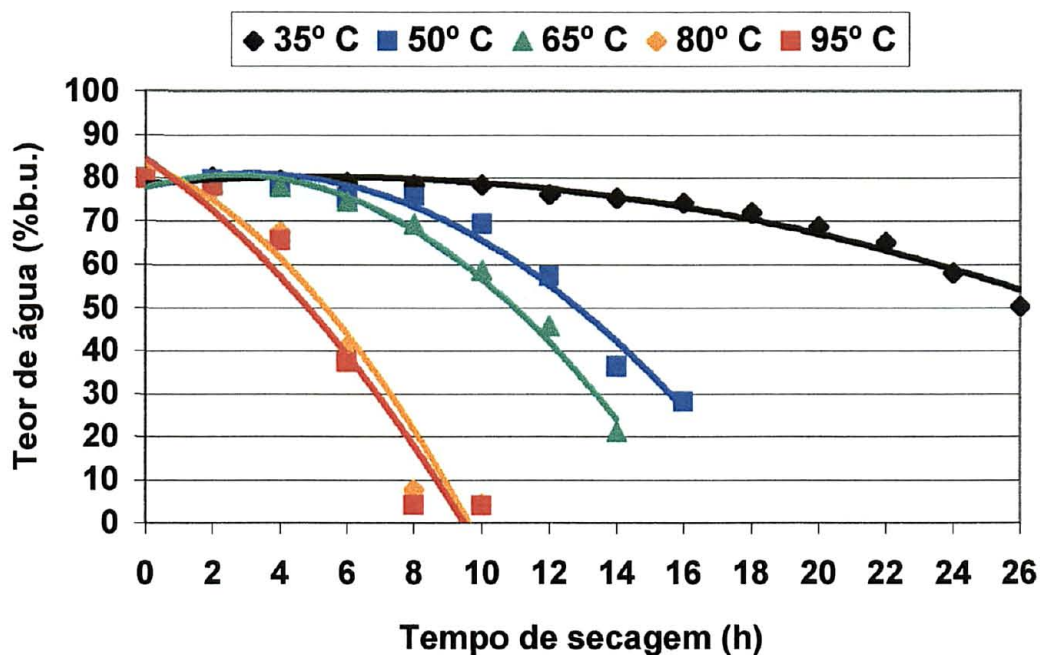


FIGURA 22 – Linhas de tendências relacionando o teor de água e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes temperaturas do ar. Curitiba, PR. 2000

Com relação à taxa de secagem de sementes e grãos, grande parte dos estudos mostra que o processo de secagem é representado por equações de segundo grau, o que também foi constatado no estudo com a camomila. Entretanto, diferentemente do que foi observado na secagem da camomila, no processo de secagem de sementes, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar, ocorre um período de taxa constante e outro de taxa decrescente da redução do teor de água.

As sementes, em geral, apresentam o período de secagem com taxa constante muito curto, ou inexistente, porque, nas condições operacionais de secagem, as resistências às transferências de água encontram-se essencialmente no seu interior, tornando a taxa de evaporação superficial acentuadamente superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície (Lasseran, 1978).

No período de taxa decrescente de secagem, caracterizado pelo transporte interno de água ser menor do que a taxa de evaporação, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa e, em consequência, a temperatura da semente aumenta, tendendo à temperatura do ar de secagem (Villela, 1991).

Todavia, na secagem da camomila, a redução do teor de água ocorre somente em taxas progressivas ao longo de todo o processo, conforme Figura 22. Este período inicial de baixa taxa de secagem (Tabela 1) é influenciado pelo aumento da temperatura do ar e, conseqüentemente, pelo aumento da temperatura da camomila, fazendo com que a perda

de água na camomila seja mais acentuada algumas horas depois do início da secagem. Este fato difere do constatado na secagem de sementes, onde a perda de água ocorre em taxas maiores no início do processo, decrescendo à medida que o tempo passa. Assim, na secagem da camomila era de se esperar perdas de água ainda em maiores proporções no início do processo, uma vez que o teor de água é muito maior comparativamente às sementes, além de existir maior superfície de contato entre a camomila e o ar de secagem. Não foi encontrada uma explicação teórica para tal acontecimento.

Nas temperaturas de 80 e 95° C constatou-se uma semelhança em termos de taxa de secagem, com uma elevação rápida, chegando ao máximo em 8 horas de secagem (Tabela 1), indicando que temperaturas constantes superiores a 80° C não se justificariam para a camomila.

Outro efeito observado do elevado teor de água inicial da camomila foi a formação de uma névoa intensa e com aroma característico da camomila, ao iniciar a secagem no secador do tipo “bandejão”, em Mandirituba-PR. Provavelmente, é quando se concentra grande parte da perda do óleo essencial por volatilização, pois justamente, neste período inicial do processo de secagem experimental foi detectada sua perda mais acentuada.

Quanto ao teor de óleo essencial seu comportamento foi verificado *em relação ao* tempo de secagem apresentando importantes diferenças em relação ao fato ocorrido com o teor de água. De um modo geral, para todos os experimentos a perda do óleo essencial foi mais acentuada nas primeiras quatro horas de secagem, diminuindo logo em seguida e aumentando novamente no final da secagem (Figura 23 e Tabela 1). Assim, é provável que esteja ocorrendo pouca influência da temperatura do ar de secagem sobre o rendimento final de óleo essencial da camomila, contrariando relatos de Ginieis (1992) referentes a extração da água constituinte das células da camomila sob baixas temperaturas de modo a evitar a evaporação dos óleos essenciais.

Quando o teor final de óleo essencial foi estimado, considerando um teor de água de 10% para a camomila, grande influência parece ocorrer com relação ao período de exposição da camomila às condições de secagem estudadas. Assim, para maiores temperaturas do ar de secagem maior rendimento de óleo foi obtido, provavelmente devido ao menor tempo de secagem ou maior taxa de secagem.

Este fato é contrário ao paradigma de que temperaturas inferiores à 42° C evitariam efeitos drásticos de volatilização do óleo essencial das plantas medicinais, a ponto de não haver mais razão para sua utilização para fins de cosmético e muito menos medicinal. Então, temperaturas abaixo de 42° C têm sido recomendadas não só para a camomila, mas para todas as espécies medicinais com substâncias voláteis. A dificuldade de adoção destas

recomendações na prática e a escassez de literatura sugerem que este paradigma não foi construído adequadamente.

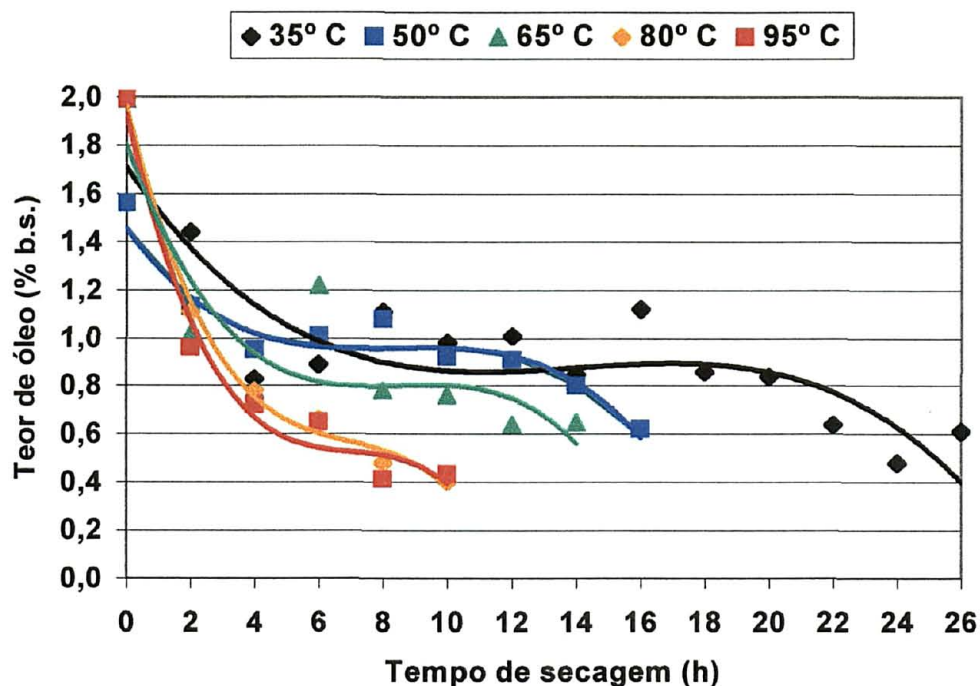


FIGURA 23 – Linhas de tendências relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes temperaturas do ar. Curitiba, PR. 2000

O rendimento de óleo essencial da camomila é caracterizado por perdas mais acentuadas detectadas logo nas primeiras horas do processo, seguido de um platô e, no final do processo, perdas menos acentuadas. À medida que maiores temperaturas do ar foram utilizadas, mais acentuadas foram as perdas do óleo essencial no início da secagem e, conseqüentemente, menor foi o período de secagem intermediário, caracterizado pelo platô. Entretanto, de um modo geral, os teores finais de óleo essencial foram mantidos ligeiramente acima do mínimo preconizado pela Farmacopéia Brasileira (1996), que é de 0,4%.

As perdas mais acentuadas do óleo essencial no início da secagem podem estar relacionadas à sua localização predominante em estruturas periféricas (tricomas glandulares) que compõem o capítulo floral da camomila, bem como as localizações nas estruturas internas (canais secretores) podem estar relacionadas a perdas detectadas menos acentuadas no final da secagem. Portanto, o platô estaria representando o período

necessário para que as estruturas mais internas fossem atingidas, e o óleo fosse arrastado juntamente com a água por ocasião do processo de secagem.

Outra possível explicação está relacionada à presença de diferentes substâncias que constitui o óleo essencial da camomila, independentemente da sua localização na planta, os quais podem ser volatilizados em maiores proporções no início da secagem devido seus diferentes pontos de evaporação ou peso molecular, enquanto a menor parte deles é volatilizado somente em temperaturas mais elevadas, coincidindo com o final do processo de secagem. Além disso, alguns componentes do óleo essencial da camomila podem ser perdidos simplesmente por meio da alteração de suas estruturas químicas (hidrólise e/ou oxidação), os quais, muitas vezes, não mais podem ser detectados por hidrodestilação em Clevenger (Povh, 2000).

5.2 SECAGEM SOB DIFERENTES VAZÕES ESPECÍFICAS DO AR

As condições de secagem utilizadas, na segunda fase experimental, foram provenientes primeiramente de uma busca na literatura sobre secagem de sementes porque nenhuma informação foi encontrada na literatura sobre plantas medicinais e aromáticas, muito menos em literatura específica sobre camomila. Depois, foi considerado o conhecimento adquirido empiricamente pelos produtores de camomila, da região de Mandirituba-PR, em que o principal efeito da ventilação na secagem consistia em não deixar a camomila adensar (ou vulgarmente, batumar), conferindo à massa de camomila a propriedade de porosidade, de modo que a passagem do ar aquecido forçado seja facilitada. A razão disso é o fato de que o elevado teor inicial de água em que se encontra a camomila, imediatamente após a colheita, proporciona seu adensamento e, conseqüentemente uma maior resistência à passagem do ar de secagem.

Dessa forma, optou-se pelas vazões específicas de 10 e 210 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ como referenciais extremos e, então foram escolhidas as vazões específicas intermediárias em intervalos regulares. A temperatura do ar foi estabelecida já na primeira fase experimental, considerando a temperatura de 80° C como a mais indicada para a seqüência do estudo.

Na secagem de sementes, a literatura postula que este processo é mantido por um diferencial de pressão de vapor no sentido da lâmina d'água para o ar quando se aumenta a temperatura e a ventilação do ar. Portanto, quanto mais seco estiver o ar de secagem mais rápido será o movimento da água para o ar, permanecendo este processo enquanto houver este gradiente de tensão parcial de vapor. Quando o ar está saturado não se dá mais a transferência de vapor. Nesse momento, para que haja o prosseguimento do processo de

secagem, há necessidade da renovação do ar proporcionada pela passagem forçada de ar aquecido.

Por analogia, a movimentação de moléculas de água de dentro para fora da camomila pode ser estimulada também pela troca constante do ar circundante. Assim, à medida que foram utilizadas maiores vazões específicas do ar de secagem, a redução do teor de água da camomila foi mais acentuada, embora os teores iniciais de água não sejam iguais, mas muito próximos, conforme ilustrado na Figura 24 e na Tabela 3.

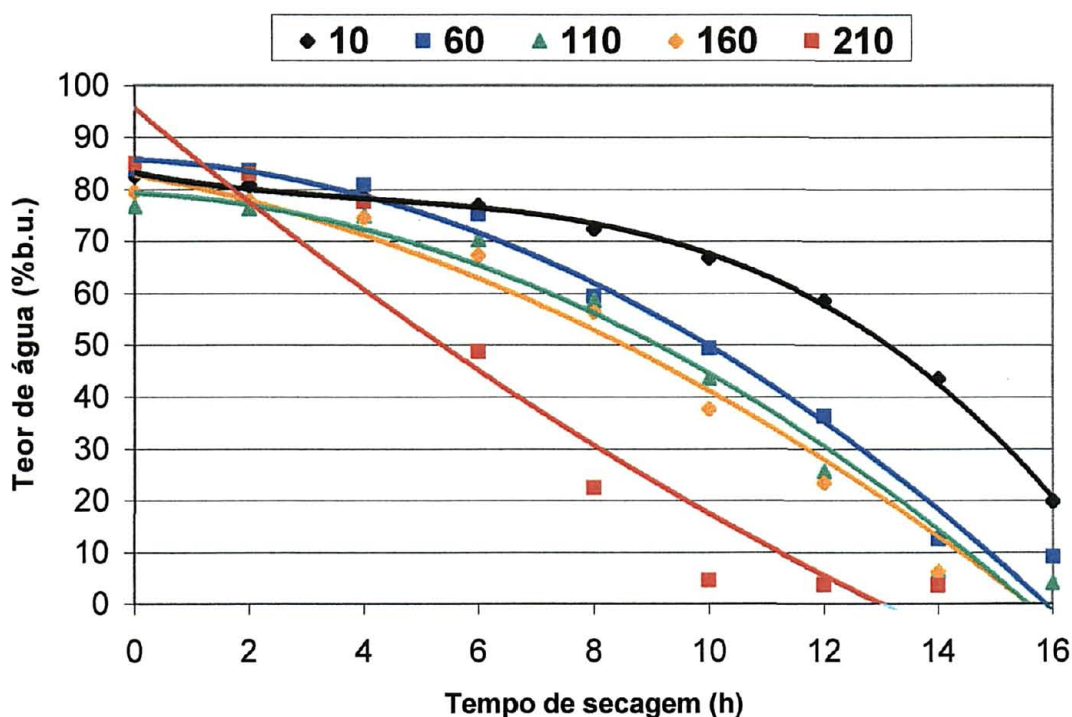


FIGURA 24 – Linhas de tendências relacionando o teor de água e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes vazões específicas do ar ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$). Curitiba, PR. 2001

Portanto, a taxa de secagem da camomila é função da vazão específica do ar de secagem, como também da temperatura do ar. O comportamento verificado em relação ao período inicial do processo de secagem, caracterizado pela perda de água de maneira lenta no início e mais rápida após a sexta hora, foi semelhante ao da primeira fase experimental, sendo também representadas por curvas polinomiais de segundo grau. Porém, a $210 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ a perda de água foi mais acentuada a partir da quarta hora de secagem, destacando-se entre os demais experimentos pela maior taxa de secagem (Figura 24 e Tabela 3).

Da mesma forma que para a fase experimental anterior, o comportamento verificado para o teor de óleo essencial em relação ao tempo de secagem apresenta diferenças em

relação ao fato ocorrido com o teor de água, embora sejam discretas. De um modo geral, nesta fase a perda do óleo essencial foi constante ao longo de todo o processo de secagem, o que difere da fase anterior.

Na Figura 25 e na Tabela 3, as linhas de tendência referentes aos experimentos sob 10, 110 e 160 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, indicam que estes tiveram comportamentos semelhantes entre si, embora os teores iniciais de óleo essencial sejam diferentes em função da realização dos experimentos em datas diferentes. Já os experimentos sob 160 e 210 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, aparentemente mostraram-se mais drásticos ao rendimento de óleo essencial em relação aos demais experimentos, principalmente na segunda e oitava hora de secagem, respectivamente.

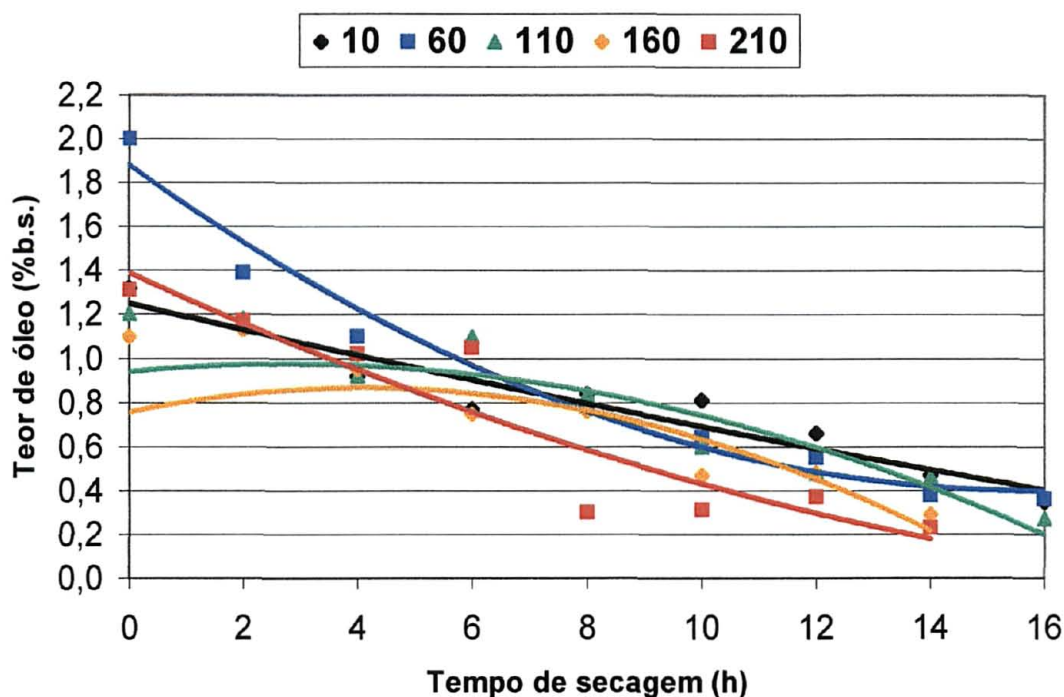


FIGURA 25 – Linhas de tendências relacionando o teor de óleo essencial e o tempo de secagem, submetendo a camomila sob diferentes vazões específicas do ar ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$). Curitiba, PR. 2001

Porém, no último experimento (210 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$), é possível observar um comportamento peculiar em relação aos demais, principalmente pela redução abrupta do teor de óleo essencial entre a sexta e oitava hora de secagem, antes mesmo da redução do teor de água em níveis inferiores a 10%. Provavelmente, o aumento acentuado da temperatura da camomila justamente neste período da secagem acentuou a taxa de redução tanto do teor de óleo essencial quanto do teor de água (Tabela 3). De um modo

geral, este fato também ocorreu quando a camomila foi submetida sob diferentes temperaturas do ar.

Ainda neste experimento, a maior taxa de secagem obtida possibilitaria que o processo fosse interrompido antes de ocasionar uma secagem excessiva (sobre-secagem) e, dessa forma, assegurar um teor final de óleo em torno de 0,4% (Tabela 4). Portanto, pode ser considerado numericamente superior aos demais experimentos, além de ser equivalente ao mínimo estabelecido pela Farmacopéia Brasileira (1996).

Embora haja coerência entre os resultados da secagem da camomila em diferentes vazões específicas, demonstrando maior destaque para a maior vazão estudada, não foi possível caracterizá-la como vazão máxima limite ou ideal. Possivelmente maiores taxas de secagem podem ser obtidas ao utilizar maiores vazões específicas até verificar o momento em que qualquer acréscimo no fluxo de ar pode contribuir muito pouco para a secagem.

Na secagem de sementes, este fato é atribuído ao movimento da água do interior da semente para a superfície dar-se vagarosamente, em função de mecanismos como: ações capilares, difusão da água, gradientes de pressão de vapor, gravidade e evaporação da água. No entanto, na secagem da camomila parece não ocorrer tal resistência, pelo menos com tanta intensidade, ao movimento da água do interior para a periferia das inflorescências, o que propiciaria maior taxa de secagem à medida que fosse submetida a maiores vazões específicas do ar. É importante salientar que a densidade da camomila torna-se menor no decorrer do processo de secagem, o que pode ser uma limitação para a utilização de elevadas vazões, principalmente nos momentos finais da secagem, porque há possibilidade de impulsionar o material para fora do secador. Neste sentido, a utilização de elevadas vazões específicas de maneira não constante ao longo da secagem da camomila poderia ser também uma alternativa interessante a ser pesquisado para a obtenção de maiores taxas de secagem.

Quando se faz uma comparação entre as duas fases experimentais (Figura 22 e Figura 24), há um forte indicativo de que a redução do teor de água da camomila é influenciada mais pela temperatura do que pela vazão específica do ar. Pois, a taxa de secagem é provavelmente função do aquecimento da camomila, o qual coincidiu com a maior taxa de perda de água em todos os experimentos. Numa mesma vazão específica do ar de secagem foi possível secar a camomila em até 18 horas a menos, variando a temperatura do ar de 35 a 95° C. Enquanto que numa mesma temperatura do ar de secagem foi possível secar a camomila em apenas seis horas a menos, variando a vazão específica do ar de 10 a 210 m³.min⁻¹.t⁻¹. Ainda, em ambas as fases experimentais o comportamento obtido para o teor de água em relação ao tempo de secagem foi

representado por equações polinomiais de segundo grau, cujo coeficiente de determinação (R^2), de um modo geral, foi satisfatório para todos os experimentos.

Sendo a taxa de secagem função do aquecimento da camomila, é mais uma razão para que sejam utilizados modelos de secadores do tipo estacionário, não somente pelo fato de evitar a movimentação excessiva da camomila, mas também para impedir o resfriamento da mesma, resultante da interrupção do processo de secagem, comum em modelos intermitentes, os quais são usualmente recomendados para a secagem de sementes.

Em relação ao teor de óleo essencial entre as duas fases experimentais (Figura 23 e Figura 25), verificou-se que as perdas ocorrem em todas as temperaturas e vazões específicas do ar de secagem estudadas, em comportamentos diferentes. Enquanto que na primeira fase experimental o comportamento do óleo em relação ao tempo de secagem foi representado por equações polinomiais de terceiro grau, na segunda fase a melhor representação foi por meio de equações polinomiais de segundo grau. Todavia, o coeficiente de determinação não foi satisfatório, para os experimentos da primeira fase sob 35 e 50° C e sob 10, 110, 160 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$, da segunda fase experimental.

Este fato ocorreu possivelmente devido às limitações do método utilizado para a extração do óleo essencial da camomila, cuja precisão e exatidão, não são características do Clevenger. Embora seja o método de destilação mais antigo, mais versátil e, comercialmente, mais usado no Brasil, proporciona algumas alterações no óleo essencial (hidrodifusão, hidrólise e decomposição pelo calor).

Entretanto, é possível acreditar que menores períodos de exposição da camomila às condições de secagem, possam ser mais interessantes do ponto de vista operacional e comercial. Um processo de secagem mais rápido pode assegurar teores finais de óleo essencial dentro do limite estabelecido pela Farmacopéia Brasileira, além de evitar o desenvolvimento de atividades enzimáticas e de microrganismos e, ainda, favorecer o processo de colheita da camomila, junto a produtores que dispõe de poucos secadores do tipo “bandeirão”.

Todavia, é imprescindível que ao longo de todo o processo de secagem seja feito um monitoramento adequado principalmente das condições da camomila referentes à temperatura e teores de água e de óleo essencial. Para isso, há necessidade de se dispor de equipamentos e metodologia adequada com o intuito de planejar o processo de secagem de modo a propiciar maior taxa de secagem e, conseqüentemente, menor tempo de secagem.

Elevadas temperaturas e vazões específicas do ar de secagem poderiam ser utilizadas de maneira não constante ao longo do processo, baseadas na temperatura da

camomila, a qual poderia ter limites fixados conforme o comportamento da composição química e do teor de seu óleo essencial, desde que esta influência seja comprovada cientificamente.

Além de transferir parte da responsabilidade carregada pelos produtores para a comunidade científica e de extensão rural ligados à espécie vegetal estudada, este trabalho indica que a secagem da camomila ainda não está completamente entendida e que ela deve ser objeto de estudo sob muitos outros aspectos, principalmente em relação à composição química do óleo essencial e presença de contaminantes microbiológicos.

Conforme relatos de alguns pesquisadores argentinos, a temperatura ideal para a secagem da camomila está em torno de 67° C no ar de secagem, cujo valor está muito próximo ao empregado na secagem da camomila em Mandirituba. Embora sejam regiões distintas, torna-se evidente a necessidade de superar o paradigma na secagem da camomila em Mandirituba de que temperaturas superiores à 42° C não devem ser utilizadas em função da perda de substâncias voláteis durante o processo, chegando a inviabilizar sua utilização para fins medicinais e de cosméticos. A superação deste paradigma vem aos anseios dos agricultores desta região, uma vez que suas condições de trabalho geraram experiências divergentes a este paradigma. Por conta disto, muitas vezes, os mesmos são responsabilizados pela não manutenção das propriedades originais da matéria-prima. Isto se tornou um dos principais pontos de estrangulamento da produção de camomila, tornando-se imprescindível estudar a temperatura de secagem, principalmente sua influência no rendimento e na composição química do óleo essencial, de modo a assegurar maior qualidade do produto final.

Para algumas outras espécies, este paradigma de secagem vem sendo superado. Em geral, Page e Stearn (1992) recomendam uma secagem rápida, com calor moderado, livre circulação de ar e ausência de luz solar para evitar a alteração da cor. Para espécies produtoras de substâncias voláteis, estudos realizados com menta (*Menta piperita* L.) mostram que a secagem sob temperaturas superiores a 40° C é altamente prejudicial para o teor e composição química do seu óleo essencial (Blanco *et al.*, 2000). Os mesmos autores num estudo com alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) afirmam que a secagem sob temperaturas de até 60° C não influencia na composição química do seu óleo essencial, mas o rendimento foi reduzido em temperaturas superiores à 40° C. Para o capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf], Martins *et al.* (2000) também desenvolveram um estudo sobre secagem observando um efeito negativo no rendimento e positivo na composição química do óleo essencial com o aumento da temperatura até 60° C, porém nenhuma influência foi observada em relação à velocidade do ar de secagem. Esta temperatura

também foi considerada como limite ótimo para a secagem de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) em relação ao rendimento e composição química do seu óleo essencial (Rocha, 2000).

Além de não existir tendências de padronização das condições de secagem, esta faixa de temperaturas recomendada favorece as atividades enzimáticas, havendo a necessidade de elevada corrente de ar forçado ou secar por alguns minutos em temperaturas entre 100-120° C para promover a estabilização e interromper os processos enzimáticos (Muñoz, 1993). Portanto, é fundamental estudar a particularidade de cada espécie, principalmente no que se refere às propriedades farmacêuticas dependentes dos fatores de secagem.

A realidade vivida por produtores de camomila desta região ainda apresenta muitas lacunas. Com relação ao processo de secagem ainda não se conhece precisamente o teor final de água da camomila que propicie boas condições de armazenamento em relação às embalagens utilizadas e condições climáticas locais. Além disso, a falta de equipamentos para o controle instantâneo do teor de água da camomila durante a secagem também contribui para a obtenção de um produto final de baixa qualidade, principalmente pela secagem excessiva ou até mesmo insuficiente.

No entanto, os resultados obtidos indicam que a perda do óleo essencial da camomila até poderia ser atenuada, mas é praticamente inevitável nas condições de secagem estudadas. Talvez, a utilização combinada de temperaturas e vazões específicas do ar de secagem, desta vez não constante ao longo do processo, poderia ser interessante à redução do teor de água da camomila tornando mínima a perda do seu óleo essencial.

Partindo da premissa de que a perda do óleo essencial seria realmente inevitável e que se concentra nas primeiras horas de secagem, uma das soluções seria a recuperação do óleo volatilizado num processo paralelo à secagem, uma vez que esta substância é a razão de ser desta espécie e tão valiosa para seus exploradores. Porém, isto deve ser considerado com muita cautela uma vez que a literatura genérica de óleos voláteis salienta algumas alterações na composição química destas substâncias voláteis, quando submetidas às condições de temperatura, luz, fertilidade, teor de água, etc, poderiam inviabilizar o seu uso para fins medicinais e cosméticos.

Sobretudo, antes que outro paradigma seja construído de maneira precipitada em relação à recuperação do óleo essencial da camomila, é fundamental que seja estudado o efeito de diferentes condições de secagem no seu rendimento e na sua composição química. Portanto, embora o rendimento de óleo essencial da camomila seja influenciado negativamente pelo processo de secagem, independentemente da temperatura e da vazão específica do ar, sua composição química poderá ser mantida ou pouco alterada utilizando

condições de secagem adequadas, assegurando suas propriedades de interesse medicinal e cosmético.

Dessa forma, será possível estimar as substâncias que realmente estão sendo perdidas por evaporação e, assim, recorrer à literatura específica para verificar se existe possibilidade de recuperação de maneira a assegurar suas propriedades farmacológicas. Também, novas propriedades terapêuticas poderão ser descobertas ou até mesmo atribuídas às substâncias bio-ativas conhecidas e àquelas ainda desconhecidas.

Enfim, torna-se oportuna a proposta de seguir o estudo do efeito do processo de secagem no rendimento e na composição química do óleo essencial da camomila com o intuito de proporcionar, aos interessados, subsídios para o aprimoramento de sua tecnologia, gerando mais uma fonte de renda para os produtores de camomila e benefícios para os usuários de produtos derivados desta droga¹³. O óleo essencial que hoje é considerado um subproduto, seria o produto principal do processo produtivo da camomila na região de Mandirituba.

¹³ Droga vegetal: é a planta ou suas partes, que após processo de coleta, secagem, estabilização e conservação, justificam seu emprego na preparação de medicamentos (Brasil, 1995).

6 CONCLUSÕES

Ao verificar o processo de secagem estacionária da camomila sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar é possível concluir que:

Maiores taxas de secagem são obtidas com o aumento da temperatura e da vazão específica do ar;

A remoção de água é progressiva ao longo do processo de secagem da camomila. Menor nos primeiros intervalos de tempo e maior com o decorrer do tempo;

A remoção do teor de óleo essencial da camomila é inevitável e o aumento da temperatura do ar de secagem antecipa essa perda;

A taxa de perda do óleo essencial da camomila é acentuada no início do processo, seguida de um “platô” e novamente acentuada no final da secagem;

Durante o processo de secagem, a diminuição do teor de água difere da redução do teor de óleo essencial sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar de secagem;

A diminuição do teor de óleo essencial sob diferentes temperaturas difere da perda sob diferentes vazões específicas do ar de secagem;

As temperaturas de 35, e 50° C são insuficientes para a secagem da camomila, bem como não impedem a perda de óleo essencial. As temperaturas de 80 e 95° C proporcionam maior taxa de secagem, porém a última conferiu cor caramelo na camomila, que é indesejável comercialmente;

A faixa de temperatura de secagem “ideal” deve estar em torno de 65 e 80°C, considerando-se o tempo que demora a secagem e as perdas de qualidades como a cor e o teor de óleo, que deve ser experimentado em outras pesquisas;

Entre as vazões específicas, maior taxa de secagem foi obtida sob 210 m³.min⁻¹.t⁻¹;

O teor de óleo essencial é reduzido durante todas as condições de secagem estudadas, porém mais atenuada sob 80° C e 210 m³.min⁻¹.t⁻¹.

REFERÊNCIAS

- 1 AGUIRRE, R.; PESKE, S. T. **Manual para el beneficio de semillas**. Cali: CIAT, 1988.
- 2 AHRENS, D. C.; BORSATO, A. V.; DONI FILHO, L.; AHRENS, S. B. Secagem estacionária de guandu sob diferentes temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Informativo Abrates, v. 11, n. 2, p. 77, set. 2001.
- 3 AHRENS, D. C.; VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L. Qualidade fisiológica e industrial de aveia-branca (*Avena sativa* L.) na secagem intermitente. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 2, p. 12-20, 2000.
- 4 ALONSO J. R. Manzanilla. In: _____. **Tratado de fitomedicina: bases clínicas y farmacológicas**. Buenos Aires: ISIS, 1998.
- 5 ARATA, A. Colectores solares aplicados al secado. In: HORN, M; ROMÁN, R; SARAIVA, L. **Ingeniería del secado solar**. La Plata: CYTED-D, 1998.
- 6 BARROS, I. B. I.; IKUTA, A. R. Y.; PARDO, V. A. Multiplicidade de usos e potencial agrícola da marcela (*Achyrocline satureoides* (Lam.) D.C. Compositae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 33., 1993, Brasília. **Resumos**. Curitiba: Sociedade de Olericultura Brasileira, 1993.
- 7 BERTI, M.; BEUSSO, D. R.; AHRENS, D. C. Secagem estacionária empregando gás em sementes de trigo e sua qualidade fisiológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Informativo Abrates, v. 11, n. 2, p. 78, set. 2001.
- 8 BLANCO, M. C. S. G.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M.; BOVI, O. A. Influência da temperatura de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de menta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 901-903, jul. 2000.
- 9 _____. Influência da temperatura de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de alecrim. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 903-911, jul. 2000.
- 10 BONJORNIO, R. A.; BONJORNIO, J. R.; BONJORNIO, V.; RAMOS, C. M. **Física, 2º grau: mecânica, eletricidade, termologia, ondulatória, óptica geométrica**. São Paulo: FDT, 1988. p. 227-245.
- 11 BRAGANÇA, L. A. R. Plantas medicinais: conceitos e benefícios. In: _____. **Plantas medicinais antidiabéticas: uma abordagem multidisciplinar**. Niterói: EDUFF, 1996.
- 12 BRAS, A. L. Maize drying conditions and its resulting quality for wet-milling industry. In: INGLET, G. E (Ed.). **Maize recent progress in chemistry and technology**. New York: Academic press, 1982. p. 95-127.

- 13 BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de Sementes**. Brasília, 1992. 365 p.
- 14 BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 6, 31 de janeiro de 1995. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 26, p. 1523-1524, Seção I, 1995.
- 15 BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. Westport: AVI Publishing, 1974. 265p.
- 16 BUSTAMANTE, F. M. L. **Plantas medicinales y aromaticas: estudio, cultivo y procesado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1987.
- 17 CARVALHO, N. M. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165 p.
- 18 CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.
- 19 CAVARIANI, C.; BAUDET, L. M. L. Secagem de sementes. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 91, p. 44-69, 1982.
- 20 CCI – CENTRO DE COMERCIO INTERNACIONAL. **Estudio de mercado: hierbas culinárias secas – un panorama de mercados seleccionados de Europa Occidental**. UNCTAD/GATT, 1992.
- 21 COOK, R. J.; PAPENDICK, R. I. Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to post harvest pathology. **Hortscience**, Mount Vernon, v. 13, n. 5, p. 559-564, out. 1978.
- 22 CORRÊA JUNIOR, C. **Influência das adubações orgânica e química na produção de camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] e do seu óleo essencial**. Jaboticabal, 1994. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- 23 CORRÊA JÚNIOR, C.; LIN, C. M.; SCHEFFER, M. C. A importância do cultivo de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. **SOB Informa**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 23-24, 1991.
- 24 CORREA JUNIOR, C; MING, C. L.; SCHEFFER, M. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994.
- 25 COSTA, M. A. D. **Processo de produção agrícola da cultura da camomila no município de Mandirituba, PR**. Curitiba, 2001. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 26 CURIONI, A. O. Secado de hierbas aromáticas y medicinales. In: BALBUENA; BENEZ; JORAJURIA (ed.). **Ingenieria rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano**. La Plata: U.N.L.P., 1998.
- 27 CURIONI, A.; ALFONSO, W. La manzanilla común [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] – cosecha y poscosecha. **Revista de Tecnología Agropecuaria**, p. 72-76, mai 1996.
- 28 DORIA, J.; ANDRÉS, M. C. Psicrometria aplicada al secado. In: HORN, M; ROMÁN, R; SARAIVA, L. **Ingeniería del secado solar**. La Plata: CYTED-D, 1998.

- 29 ELDER, H.; MALVASIO, M.; RETAMAR, J. Estabilización de las hojas y flores de *Origanum vulgare* L. (orégano) por presión y temperatura. In: CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES AROMÁTICOS Y MEDICINALES, 7., 1993. **Anais...** 1993. p. 17.
- 30 FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 4. ed., v. 2. São Paulo: ATHENEU, 1996.
- 31 FARNSWORTH, N. R.; AKERELE, O.; BINGEL, A. S.; SOEJARTO, D. D.; GUO, Z. Medicinal plants in therapy. **Bulletin of the World Health Organization**, Geneva, v. 63, p. 965-981, 1985.
- 32 FERREIRA, S. **Medicamentos a partir de plantas medicinais no Brasil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1998.
- 33 FOLHA DO MEIO AMBIENTE. Brasil importa o que poderia produzir. nov. 1991. p. 9.
- 34 FORTES, M. **A non-equilibrium thermodynamics approach to transport phenomena in capillary-porous media with special reference to drying of grains and foods**. West Lafayette, 1978. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Purdue University.
- 35 FOSTER, C. H. Heated air grain drying. In: SINHA, R. H.; MUIR, W. E. (Ed.). **Grain storage: part of a system**. Westport: AVI Publishing, 1973.
- 36 FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1975.
- 37 GAARDER, J. **O mundo de Sofia: romance da história da filosofia**. 6. ed. Tradução de: João Azenha Jr. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. p. 182.
- 38 GARRIDO, M. Fungal contamination in comercial spices. **Alimentaria**, Madrid, v. 25, n. 189, p. 81-84, 1988.
- 39 GINIEIS, A. **Manzanilla, un cultivo no tradicional**. Luján, 1992. Monografia (Licenciatura en Geografia) - Universidad de Luján.
- 40 GONÇALVES, D. N. Receita natural. **Veja**, São Paulo, p. 84-85, jun./1997.
- 41 HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 4. ed. Tradução: Sílvia Teixeira de Matos. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1996.
- 42 HARLAN, J. R. **Crops and managers**. Winsconsin: American Society of Agronomy, 1975.
- 43 HARRISON, C. M.; WRIGHT, A. H. Seed corn drying experiments. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 21, n. 10, p. 994-1000. 1929.
- 44 HERTER, U.; BURRIS, J. S. Effect of drying rate temperature on drying injury of corn seed. **Rev. Can. Phytotechnic**, Ottawa, v. 69, n. 3, p. 763-774, 1989.
- 45 HORN, M.; SINICIO, R.; BELTRÁN, R.; CORVALÁN, R. El proceso de secado. In: HORN, M.; ROMÁN, R.; SARAIVA, L. **Ingeniería del secado solar**. La Plata: CYTED-D, 1998.

- 46 IKUTA, A. R. Y. **Estudos sobre a propagação de marcela, *Achyrocline satureioides* (Lam.) D. C., Compositae**. Porto Alegre, 1993. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 47 KREYGER, J. Drying of seeds. **Proceedings of the international seed testing association**, Copenhagen, v. 25, n. 1, p. 590-601. 1960.
- 48 LASSERAN, J. C. News developments in energy preservation for maize drying. In: INGLET, G. E. (Ed). **Maize recent progress in chemistry and technology**. New York: Academic press, 1982. p. 53-76.
- 49 LASSERAN, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 17-45. 1978.
- 50 MARTINS, E. R.; DE CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- 51 MARTINS, P. M.; MELO, E. C.; CORRÊA, P. C.; BARBOSA, L. C. A.; SANTOS, R. H. S. Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e composição química do óleo essencial de capim-limão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 911-913, jul. 2000.
- 52 MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. **Desenvolvimento de fitoterápicos**. São Paulo: ROBE, 1999.
- 53 MUÑOZ, F. **Plantas medicinales y aromaticas: estudio, cultivo y procesado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993.
- 54 NEVES, E. S. Plantas medicinais na saúde pública. **Silvicultura**, São Paulo, v. 6-A, p. 181-186, 1982.
- 55 OCAMPO, R. A. **Domesticación de plantas medicinales en Centroamérica**. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1994. 132 p.
- 56 OLIVEIRA, L. P. **Plante saúde: farmácias caseiras**. Curitiba: Prefeitura Municipal, 1995.
- 57 PAGE, M; STEARN, W. T. **Hierbas para cocinar**. Barcelona: Grafos, 1992.
- 58 PESKE, S. T.; AGUIRRE, R. **Manual para operadores de unidades de beneficio de semillas (UBS)**. Cali: CIAT, 1987. 117 p.
- 59 PIAGET, J. **Para onde vai a educação?** Rio de Janeiro: Olympio-Unesco, 1973.
- 60 POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: Pax, 1985. 289 p.
- 61 PORTELA, J. A.; MARTINS, R. R. Secagem de grãos. **Cultivar**, São Paulo, p. 36-37, ago. 2001.
- 62 POVH, N. P. **Obtenção do óleo essencial da camomila (*Matricaria recutita* [L.] Rauschert) por diferentes métodos: destilação por arraste a vapor, extração com solventes orgânicos e extração com CO₂ supercrítico**. Campinas, 2000. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- 63 RATERA, E.; RATERA, M. **Plantas de la flora argentina empleadas en medicina popular**. Buenos Aires: Hemisfério Sur, 1980.
- 64 ROCHA, S. F. R.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Influência de cinco temperaturas de secagem no rendimento e composição do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 73-78, out. 2000.
- 65 ROGERS, C. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 1972.
- 66 SALAMÓN, I. Production of chamomile [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] in Slovakia. **Journal of herbs, spices and medicinal plants**, Binghamton, v. 1, n. 1-3, p. 37-45, 1992.
- 67 SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth, 1992. p. 27-43.
- 68 SARAIVA, L. Introdução. In: HORN, M; ROMÁN, R; SARAIVA, L. **Ingeniería del secado solar**. La Plata: CYTED-D, 1998.
- 69 SARAIVA, L.; HORN, M. El secador solar. In: HORN, M; ROMÁN, R; SARAIVA, L. **Ingeniería del secado solar**. La Plata: CYTED-D, 1998.
- 70 SILVA, C. L.; COLOMBI, D.; MACHADO, I.; MELLO, L. C.; CELERE, S. **Fitoterapia**. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/fito/fito8.htm>> Acesso em: 1 ago. 2002.
- 71 SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P. de; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- 72 STASI, L. C. di. Arte, ciência e magia. In: _____. **Plantas medicinais: arte e ciência – um guia de estudo interdisciplinar**. São Paulo: UNESP, 1996. p. 15-21.
- 73 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. p. 61-80.
- 74 TOLEDO, F. F.; MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977. 224 p.
- 75 VILLELA, F. A. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho**. Piracicaba, 1991. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 76 VILLELA, F. A.; BAUDET, L. M. L. **Curso de especialização em produção de sementes de arroz irrigado: modulo VIII tecnologia de pós-colheita para sementes de arroz**. Pelotas: UFPel, 1996. 89 p.
- 77 WASICKY, R. Uma modificação do aparelho de Clevenger para extração de óleos essenciais. **Revista Faculdade de Farmácia e Bioquímica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 77-81, 1963.
- 78 WEBER, E. A. **Armazenagem Agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 400 p.

79 WHITE, A. **Hierbas Del Ecuador.** Ecuador: Libri Mundi Quito, 1985.